

EXPRESS MAIL NO. EV 339 771 581 US

DATE OF DEPOSIT 7/1/03

Our File No. 9281-4590  
Client Reference No. N US01138

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )  
Naoya Hasegawa et al. )  
Serial No. To Be Assigned )  
Filing Date: Herewith )  
For: A Magnetic Detecting Element Having )  
Second Antiferromagnetic Layer Overlying )  
Second Free Magnetic Layer Extending in )  
Track Width Direction Beyond Track Width )

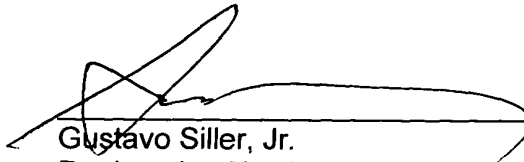
**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2002-192951, filed July 2, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,

  
Gustavo Siller, Jr.  
Registration No. 32,305  
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE  
P.O. BOX 10395  
CHICAGO, ILLINOIS 60610  
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月 2日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-192951

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-192951 ]

出 願 人

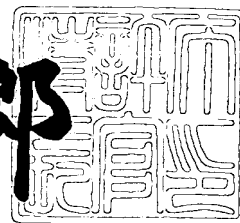
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3019524

【書類名】 特許願

【整理番号】 011269AL

【提出日】 平成14年 7月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08  
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 39

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第1フリー磁性層の順に積層された多層膜を有し、

前記多層膜のトラック幅方向の両側端面にはトラック幅方向に第2反強磁性層が設けられ、

前記第2反強磁性層上から前記第1フリー磁性層上にかけて第2フリー磁性層が設けられていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記第1フリー磁性層と第2フリー磁性層間には非磁性層が介在している請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項3】 前記第2反強磁性層と前記第2フリー磁性層間には強磁性層が介在している請求項1または2に記載の磁気検出素子。

【請求項4】 前記強磁性層と前記第2フリー磁性層間には非磁性層が設けられている請求項3記載の磁気検出素子。

【請求項5】 前記第2フリー磁性層の少なくとも前記多層膜と膜厚方向で対向する上面には、スペキュラー層が形成されている請求項1ないし4のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項6】 前記第1フリー磁性層と前記第2フリー磁性層の間にはスペキュラー層が設けられる請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項7】 前記スペキュラー層は、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の窒化物、半金属ホイッスラー合金で形成される請求項5または6に記載の磁気検出素子。

【請求項 8】 前記第 2 フリー磁性層の少なくとも前記多層膜と膜厚方向で対向する上面には、バックド層が形成されている請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記バックド層は、Cu、Au、Cr あるいは Ru で形成される請求項 8 記載の磁気検出素子。

【請求項 10】 前記第 2 フリー磁性層の上側には、前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第 3 反強磁性層が形成されている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 11】 前記第 3 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層との間には強磁性層が設けられる請求項 10 記載の磁気検出素子。

【請求項 12】 前記第 3 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層との間には第 4 反強磁性層が設けられる請求項 10 記載の磁気検出素子。

【請求項 13】 前記第 2 フリー磁性層の上側であって、前記第 3 反強磁性層のトラック幅方向における間隔内には非磁性層が形成されている請求項 10 ないし 12 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 14】 前記非磁性層は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成される請求項 2、4 または 13 に記載の磁気検出素子。

【請求項 15】 前記多層膜の下面と前記多層膜の両側端面間の角度  $\theta_1$  は、 $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下である請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 16】 前記第 2 フリー磁性層の上側であって、前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置には電極層が形成されている請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 17】 前記多層膜の膜厚方向の上側に上部電極層が、下側に下部電極層が形成されている請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 18】 前記下部電極層と第 2 反強磁性層間、および前記第 2 反強磁性層と前記多層膜の両側端面間には絶縁層が形成されている請求項 17 記載の磁気検出素子。

【請求項 1 9】 前記第 2 フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する上側と、前記上部電極層間には絶縁層が形成されている請求項 1 7 または 1 8 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 0】 前記上部電極層と前記第 3 反強磁性層間には絶縁層が形成されている請求項 1 7 または 1 8 に記載の磁気検出素子。

【請求項 2 1】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を有する多層膜を形成する工程と、

(b) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端面を削り、前記両側端面にトラック幅方向に第 2 反強磁性層を設ける工程と、

(c) 前記第 2 反強磁性層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設ける工程。

【請求項 2 2】 前記 (a) 工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記 (b) 工程で、前記第 2 反強磁性層上に前記非磁性層を形成し、前記 (c) 工程で前記第 2 フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去する請求項 2 1 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 3】 前記 (a) 工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記 (b) 工程で、前記第 2 反強磁性層上に、強磁性層及び前記非磁性層を形成し、前記 (c) 工程で前記第 2 フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去する請求項 2 1 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 4】 前記 (c) 工程で、前記第 2 フリー磁性層を形成した後、前記第 2 フリー磁性層上にスペキュラー層を形成する請求項 2 1 ないし 2 3 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 5】 前記 (a) 工程で前記第 1 フリー磁性層上の非磁性層を酸化し、この酸化層を前記第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層間にスペキュラー層として残す請求項 2 2 または 2 3 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 6】 前記スペキュラー層を、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここで Q は

B、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上)、R-O(ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上)の酸化物、Al-N、Al-Q-N(ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上)、R-N(ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上)の窒化物、半金属ホイッスラー合金で形成する請求項24または25に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項27】 前記(c)工程で、前記第2フリー磁性層を形成した後、前記第2フリー磁性層上にバックド層を形成する請求項21ないし26のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項28】 前記バックド層をCu、Au、CrあるいはRuで形成する請求項27記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項29】 前記(c)工程で前記第2フリー磁性層を形成した後、さらに前記第2フリー磁性層の上側であって前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第3反強磁性層を形成する請求項21ないし23のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項30】 前記(c)工程で、前記第2フリー磁性層の上側に非磁性層を形成し、次に前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削った後、前記第3反強磁性層を形成する請求項29記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項31】 前記非磁性層を削った面上に強磁性層を形成し、前記強磁性層上に前記第3反強磁性層を形成する請求項30記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項32】 前記第2フリー磁性層上に第4反強磁性層を形成し、前記第4反強磁性層の上側であって前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第3反強磁性層を形成する請求項29記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項33】 前記非磁性層を、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成する請求項22、23、30または31に記載の磁気検出素子の製造方法。



【請求項 3 4】 前記非磁性層を成膜当初、3 Å 以上で 2 0 Å 以下で形成する 3 3 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 5】 前記 (c) 工程で電極層を前記第 2 フリー磁性層の上側であって、前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に設ける請求項 2 1 ないし 3 4 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 6】 前記 (a) 工程で下部電極層を形成した後、前記下部電極層の上側に、前記多層膜を形成し、前記 (c) 工程の終了後、前記多層膜の上側に上部電極層を形成する請求項 2 1 ないし 3 4 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 7】 前記 (c) 工程で、前記両側端面に前記第 2 反強磁性層を設ける前に、前記多層膜よりもトラック幅方向に延出した前記下部電極層上から前記両側端面上にかけて絶縁層を形成する請求項 3 6 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 8】 前記 (c) 工程で前記第 2 フリー磁性層を形成した後、前記第 2 フリー磁性層の上面の前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に絶縁層を形成し、その後、前記上部電極層を前記絶縁層上から前記多層膜上にかけて形成する請求項 3 6 または 3 7 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 3 9】 前記 (c) 工程で前記第 3 反強磁性層を形成した後、前記第 3 反強磁性層上に絶縁層を形成し、その後、前記上部電極層を前記絶縁層上から前記多層膜上にかけて形成する請求項 3 6 または 3 7 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は主に、ハードディスク装置や磁気センサなどに用いられる磁気検出素子に係り、特にエキスチェンジバイアス方式において、フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、前記シールド間隔を従来より縮め、シールドと磁気検出素子間の絶縁性を高めるとともに、実効再生トラック幅の広がり等を抑制することができる狭トラック化に対応可能な磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

図 2 0 は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【 0 0 0 3 】

符号 1 は N i F e 合金等で形成された下部シールド層であり、前記下部シールド層 1 の上に  $A l_2 O_3$  などで形成された下部ギャップ層 2 が形成されている。

【 0 0 0 4 】

図 2 0 に示すように、前記下部ギャップ層 2 の上に、第 1 反強磁性層 3、固定磁性層 4、非磁性材料層 5 及びフリー磁性層 6 がこの順で積層形成されている。さらに前記フリー磁性層 6 の上面にはトラック幅方向（図示 X 方向）に所定の間隔（＝トラック幅  $T_w$ ）を開けて第 2 反強磁性層 7 が形成され、前記第 2 反強磁性層 7 の上には電極層 8 が形成されている。

【 0 0 0 5 】

また前記電極層 8 上から前記フリー磁性層 6 上にかけて上部ギャップ層 9 が形成され、さらに前記上部ギャップ層 9 の上に上部シールド層 1 0 が形成されている。

【 0 0 0 6 】

図 2 0 に示す従来例は、トラック幅方向（図示 X 方向）の両側に電極層 8 が設けられ、センス電流が前記第 1 反強磁性層 3 からフリー磁性層 6 までの多層膜 1 1 の各層を膜面と平行な方向に流れる C I P ( C u r r e n t I n t h e P l a n e ) 型と呼ばれる構造である。

【 0 0 0 7 】

一方、図 2 1 に示す従来例（磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図）の磁気検出素子は、前記多層膜 1 1 の膜厚方向（図示 Z 方向）の上下に電極を兼用したシールド層 1 3、1 4 が形成され、センス電流が前記多層膜 1 1 の各層を膜厚方向に流れる C P P ( C u r r e n t P e r p e n d i c u l a r t o t h e P l a n e ) 型と呼ばれる構造である。シールド層 1 3 は下部シールド層で、シールド層 1 4 は上部シールド層である。

## 【 0 0 0 8 】

図 2 1 に示す磁気検出素子では、前記第 2 反強磁性層 7 上を絶縁層 1 2 が覆っており、この絶縁層 1 2 の形成によって前記上部シールド層 1 4 から前記多層膜 1 1 に流れるセンス電流が前記第 2 反強磁性層 7 に分流するのを抑制することが可能になっている。

## 【 0 0 0 9 】

## 【発明が解決しようとする課題】

図 2 0 及び図 2 1 に示す磁気検出素子は、いずれもフリー磁性層 6 上に第 2 反強磁性層 7 が形成され、この第 2 反強磁性層 7 と接する前記フリー磁性層 6 の両側端部 6 a が前記第 2 反強磁性層 7 との間で発生する交換結合磁界によって図示 X 方向に磁化固定されるエクステンジバイアス方式と呼ばれる構造である。

## 【 0 0 1 0 】

一方、前記フリー磁性層 6 の素子中央部 6 b は、前記フリー磁性層 6 内部で生じる交換相互作用によるバイアス磁界によって図示 X 方向に単磁区化され、磁化が外部磁界に対し変動するようになっている。

## 【 0 0 1 1 】

ところで図 2 0 及び図 2 1 に示す磁気検出素子では、特に今後の高記録密度化に適切に対応するため狭トラック化を促進する必要があるため、そのため、前記第 2 反強磁性層 7 のトラック幅方向（図示 X 方向）における間隔で決定されるトラック幅  $T_w$  をさらに小さくする必要性があった。

## 【 0 0 1 2 】

しかしながら、前記狭トラック化を促進させると、図 2 0 及び図 2 1 に示す磁気検出素子では以下のような問題点が発生した。

## 【 0 0 1 3 】

すなわち図 2 0 に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層 6 の両側端部 6 a 上に第 2 反強磁性層 7 及び電極層 8 が積層形成され、この 2 つの層の厚みは  $T_1$  となっている。従って、前記第 2 反強磁性層 7 及び電極層 8 が形成されていない前記フリー磁性層 6 の素子中央部 6 b では、下部シールド層 1 と上部シールド層 1 0 間の間隔（以下では単に、シールド層 1、1 0 間の間隔と呼ぶ）が  $T_3$  であ

るのに対し、前記フリー磁性層 6 の素子両側端部 6 a では、前記シールド層 1、10 間の間隔が T 2 にまで膨れ上がってしまう。このようにシールド間隔が広がると、実際に磁気再生に寄与するトラック幅（実効再生トラック幅）や P W 5 0 が広がるといった不具合が発生した。なお「P W 5 0」とは孤立波再生波形ピークの半値幅である。

## 【 0 0 1 4 】

このように前記第 2 反強磁性層 7 間の間隔を狭めても、実際には、実効再生トラック幅が広がるなどして適切に狭トラック化に対応可能な磁気検出素子を製造できなかったのである。

## 【 0 0 1 5 】

上記した問題は図 2 1 に示す C P P 型の磁気検出素子でも起こり、図 2 1 に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層 6 の両側端部 6 a 上に第 2 反強磁性層 7 が積層形成されている。従って、前記第 2 反強磁性層 7 が形成されていない前記フリー磁性層 6 の素子中央部 6 b では、シールド層 1、10 間の間隔が T 5 であるのに対し、前記フリー磁性層 6 の素子両側端部 6 a では、前記シールド層 1、10 間の間隔が T 4 にまで膨れ上がる。このため上記した実際に磁気再生に寄与するトラック幅（実効再生トラック幅）や P W 5 0 が広がるといった不具合が発生した。

## 【 0 0 1 6 】

さらに図 2 0 に示す従来例では、前記フリー磁性層 6 の素子両側端部 6 a 上に第 2 反強磁性層 7 と電極層 8 が積層形成されているから、前記電極層 8 上面から前記第 2 反強磁性層 7 及び電極層 8 の内側端面 7 a、8 a 上、さらには前記フリー磁性層 6 の素子中央部 6 b 上にかけて形成される上部ギャップ層 9 が、特に前記内側端面 7 a、8 a 上や、内側端面 7 a、8 a とフリー磁性層 6 の素子中央部 6 b 上との角部 6 a 1 で所定の膜厚を確保しにくく、前記上部シールド層 10 と電極層 8 間や、前記上部シールド層 10 と第 2 反強磁性層 7 間の絶縁性を適切に保つことが困難であった。また第 2 反強磁性層 7 と電極層 8 とを合わせた膜厚 T 1 が厚くしかも前記第 2 反強磁性層 7 及び電極層 8 の内側端面 7 a、8 a の傾斜角が急であるほど上記の絶縁性確保が難しくなる。

## 【 0 0 1 7 】

また最近では、シールド層 1、10 間のギャップ長を短くするために前記ギャップ層 2、9 の膜厚を薄くする傾向にあるので、なおさら上記した問題が顕著化する。

## 【 0 0 1 8 】

また図 21 に示す CPP 型の磁気検出素子でも、前記第 2 反強磁性層 7 の厚みが厚いことで、前記第 2 反強磁性層 7 の特に内側端面 7a 上に前記絶縁層 12 を所定の膜厚で形成しにくい。このため前記上部シールド層 14 と第 2 反強磁性層 7 間の絶縁性が充分でなく、前記上部シールド層 14 から多層膜 11 に流れるセンス電流が前記第 2 反強磁性層 7 に分流して再生出力の低下やサイドリーディングの発生を余儀なくされた。

## 【 0 0 1 9 】

上記した絶縁性確保の問題を解決するには、一つには前記第 2 反強磁性層 7 の膜厚を薄くすればよい。しかし前記第 2 反強磁性層 7 の膜厚を薄くすれば、前記第 2 反強磁性層とフリー磁性層 6 の素子両側端部 6a 間で発生する交換結合磁界が低下する。この結果、前記フリー磁性層 6 の素子両側端部 6a が確実に磁化固定されず、オフトラック特性が悪化したり、十分な線形性を保てないなど再生特性に悪影響を及ぼすことが懸念された。

## 【 0 0 2 0 】

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、エキスチェンジバイアス方式において、フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、前記シールド間隔を従来より縮め、シールドと磁気検出素子間の絶縁性を高めるとともに、実効再生トラック幅の広がり等を抑制することができる狭トラック化に対応可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

## 【 0 0 2 1 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子は、下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を有し、

前記多層膜のトラック幅方向の両側端面にはトラック幅方向に第 2 反強磁性層

が設けられ、

前記第 2 反強磁性層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層が設けられていることを特徴とするものである。

【 0 0 2 2 】

本発明では、多層膜のトラック幅方向の両側に第 2 反強磁性層を設け、多層膜の第 1 フリー磁性層上から前記第 2 反強磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設けた点に特徴がある。

【 0 0 2 3 】

前記第 2 フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する部分では、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって磁化がトラック幅方向に固定される。一方、前記第 2 フリー磁性層の素子中央部 D では、前記交換結合磁界が働かないからトラック幅方向に弱く単磁区化された状態であり、第 1 フリー磁性層とともに、外部磁界に対し感度良く磁化反転する。

【 0 0 2 4 】

本発明ではこのように第 2 反強磁性層を多層膜のトラック幅方向の両側に設けることで、従来のように、フリー磁性層の両側端部上に第 2 反強磁性層を設けていた場合に比べて前記素子中央部 D に対する前記素子両側端部 C でのシールド間隔の広がり抑制でき、よって従来に比べて実効再生トラック幅や P W 5 0 の広がりを効果的に抑制できる。また前記素子両側端部 C 上に形成される電極層の素子中央部 D の上面に対する盛り上がりは従来よりも小さくできるから前記電極層上から前記多層膜の素子中央部 D 上に形成されるギャップ層の膜厚を均一な膜厚で形成しやすく、シールド層と電極層間の絶縁性も向上させることができる。

【 0 0 2 5 】

また本発明では、前記第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層間には非磁性層が介在していてもよい。

【 0 0 2 6 】

また本発明では、前記第 2 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層間には強磁性層が介在していることが好ましい。前記強磁性層は前記第 2 反強磁性層との間で生じる交換結合磁界によってトラック幅方向に磁化固定されると、前記強磁性層と

第 2 フリー磁性層の素子両側端部 C 間での交換相互作用により前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部 C が適切に磁化固定される。

## 【 0 0 2 7 】

また本発明では前記強磁性層と前記第 2 フリー磁性層間には非磁性層が設けられていてもよい。

## 【 0 0 2 8 】

また本発明では前記第 2 フリー磁性層の少なくとも前記多層膜と膜厚方向で対向する上面には、スペキュラー層が形成されていることが好ましい。また本発明では、前記第 1 フリー磁性層と前記第 2 フリー磁性層の間にはスペキュラー層が設けられることが好ましい。前記スペキュラー層は、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここで Q は B、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni から選択される 1 種以上）、R-O（ここで R は Cu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W から選択される 1 種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここで Q は B、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni から選択される 1 種以上）、R-N（ここで R は Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W から選択される 1 種以上）の窒化物、半金属ホイッスラー合金で形成されることが好ましい。

## 【 0 0 2 9 】

前記スペキュラー層の形成により、アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程  $\lambda_+$  と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程  $\lambda_-$  との差を大きくすることができ、従って抵抗変化率 ( $\Delta R/R$ ) の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になる。

## 【 0 0 3 0 】

また本発明では、前記第 2 フリー磁性層の少なくとも前記多層膜と膜厚方向で対向する上面には、バックド層が形成されていてもよい。前記バックド層は、Cu、Au、Cr あるいは Ru で形成されることが好ましい。前記バックド層の形成により、いわゆるスピフィルター効果 (spin filter effect) によって、大きな抵抗変化率が得られ、高記録密度化に対応できるものと

なる。

#### 【 0 0 3 1 】

また本発明では、前記第 2 フリー磁性層の上側には、前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第 3 反強磁性層が形成されていてもよい。これにより前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部 C での磁化固定を確実なものにでき、オフトラック特性をより向上でき、また十分な線形性を保つことができるなど再生特性にさらに優れた磁気検出素子を製造することが可能である。また前記第 3 反強磁性層を、従来、フリー磁性層の両側端部上に形成されていた第 2 反強磁性層よりも薄い膜厚で形成しても、本発明では多層膜の両側に第 2 反強磁性層が形成されている結果、前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部 C での磁化固定を確実なものにできる。このように本発明では前記第 3 反強磁性層を形成しても素子両側端部 C でも盛り上がりはさほど大きくなり、従来に比べてシールド間隔を狭めることができる。

#### 【 0 0 3 2 】

また本発明では、前記第 3 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層との間には強磁性層が設けられることが好ましい。あるいは前記第 3 反強磁性層と前記第 2 フリー磁性層との間には第 4 反強磁性層が設けられることが好ましい。

#### 【 0 0 3 3 】

また本発明では、前記第 2 フリー磁性層の上側であって、前記第 3 反強磁性層のトラック幅方向における間隔内には非磁性層が形成されていることが好ましい。なお前記非磁性層は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成されることが好ましい。

#### 【 0 0 3 4 】

また、前記多層膜の下面と前記多層膜の両側端面間の角度  $\theta 1$  は、 $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下であることが好ましい。前記角度  $\theta 1$  はこの程度に大きくなると、前記第 2 反強磁性層の内側先端部での膜厚は厚くなり、前記内側先端部と第 2 フリー磁性層間で適切な大きさの交換結合磁界が生じ、前記第 2 フリー磁性層の特に素子中央部 D に近い素子両側端部 C を確実に磁化固定することができる。

#### 【 0 0 3 5 】



また本発明では、前記第 2 フリー磁性層の上側であって、前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する位置には電極層が形成されている形態を提供できる。これはセンス電流が前記多層膜内の各層を膜面と平行な方向に流れる C I P ( C u r r e n t I n t h e P l a n e ) 型と呼ばれる構造である。

【 0 0 3 6 】

また本発明では、前記多層膜の膜厚方向の上側に上部電極層が、下側に下部電極層が形成されている形態であってもよい。これはセンス電流が前記多層膜の各層を膜厚方向に流れる C P P ( C u r r e n t P e r p e n d i c u l a r t o t h e P l a n e ) 型と呼ばれる構造である。

【 0 0 3 7 】

なおかかる C P P 型の場合、前記下部電極層と第 2 反強磁性層間、および前記第 2 反強磁性層と前記多層膜の両側端面間には絶縁層が形成されていることが好ましい。また前記第 2 フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する上側と、前記上部電極層間には絶縁層が形成されていることが好ましく、あるいは前記上部電極層と前記第 3 反強磁性層間には絶縁層が形成されていることが好ましい。これによってセンス電流が前記第 2 反強磁性層等に分流するのを適切に回避でき、再生出力の大きい磁気検出素子を製造することが可能になる。

【 0 0 3 8 】

また本発明における磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

- ( a ) 下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を有する多層膜を形成する工程と、
- ( b ) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端面を削り、前記両側端面にトラック幅方向に第 2 反強磁性層を設ける工程と、
- ( c ) 前記第 2 反強磁性層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設ける工程。

【 0 0 3 9 】

上記の製造方法を用いれば、容易に且つ確実に前記多層膜の両側に第 2 反強磁性層が形成され、前記多層膜を構成する第 1 フリー磁性層上から前記第 2 反強磁

性層上にかけて第2フリー磁性層が形成された磁気検出素子を製造することができる。

## 【0040】

また本発明では、前記(a)工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記(b)工程で、前記第2反強磁性層上に前記非磁性層を形成し、前記(c)工程で前記第2フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去することが好ましい。前記非磁性層はその下の層を酸化から保護するための酸化防止層である。

## 【0041】

また本発明では、前記(a)工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記(b)工程で、前記第2反強磁性層上に、強磁性層及び前記非磁性層を形成し、前記(c)工程で前記第2フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去することが好ましい。前記第2反強磁性層と強磁性層とを連続成膜することで、前記第2反強磁性層と強磁性層間に適切な大きさの交換結合磁界を生じさせることができる。また前記非磁性層を形成することで、その下の層を酸化から適切に保護できる。

## 【0042】

また本発明では、前記(c)工程で、前記第2フリー磁性層を形成した後、前記第2フリー磁性層上にスペキュラー層を形成することが好ましい。また本発明では、前記(a)工程で前記第1フリー磁性層上の非磁性層を酸化し、この酸化層を前記第1フリー磁性層と第2フリー磁性層間にスペキュラー層として残すことが好ましい。

## 【0043】

このとき前記スペキュラー層を、 $\text{Fe-O}$ 、 $\text{Ni-O}$ 、 $\text{Co-O}$ 、 $\text{Co-Fe-O}$ 、 $\text{Co-Fe-Ni-O}$ 、 $\text{Al-O}$ 、 $\text{Al-Q-O}$ （ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、 $\text{R-O}$ （ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の酸化物、 $\text{Al-N}$ 、 $\text{Al-Q-N}$ （ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R

-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の窒化物、半金属ホイッスラー合金で形成することが好ましい。

## 【0044】

また本発明では、前記（c）工程で、前記第2フリー磁性層を形成した後、前記第2フリー磁性層上にバックド層を形成することが好ましい。このとき前記バックド層をCu、Au、CrあるいはRuで形成することが好ましい。

## 【0045】

また本発明では、前記（c）工程で前記第2フリー磁性層を形成した後、さらに前記第2フリー磁性層の上側であって前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第3反強磁性層を形成してもよい。

## 【0046】

かかる場合、前記（c）工程で、前記第2フリー磁性層の上側に非磁性層を形成し、次に前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削った後、前記第3反強磁性層を形成することが好ましい。前記非磁性層は酸化防止層であるが、前記非磁性層が成膜当初の厚さで残されていると第3反強磁性層を成膜しても前記第3反強磁性層と第2フリー磁性層の両側端部間で適切な大きさの交換結合磁界が発生しない。このため前記第3反強磁性層を成膜する前に前記非磁性層の両側端部を削って除去している。

## 【0047】

また本発明では前記非磁性層を削った面上に強磁性層を形成し、前記強磁性層上に前記第3反強磁性層を形成することが好ましい。これによって第3反強磁性層との間で発生する交換結合磁界の劣化を防ぐことができる。

## 【0048】

また本発明では、前記第2フリー磁性層上に第4反強磁性層を形成し、前記第4反強磁性層の上側であって前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に第3反強磁性層を形成してもよい。

## 【0049】

なお本発明では、前記非磁性層を、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、P

t、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成することが好ましく、前記非磁性層を成膜当初、3 Å以上で20 Å以下で形成することが好ましい。前記非磁性層をRuなどで形成すると膜厚が薄くても適切に酸化防止層として機能し、しかも前記非磁性層の膜厚は薄いため前記非磁性層を削る工程において低エネルギーのイオンミリングを使用でき、前記非磁性層下の層に前記ミリングの影響が及ばないようにすることができる。

#### 【0050】

また本発明では、前記(c)工程で電極層を前記第2フリー磁性層の上側であって、前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に設けてもよいし、あるいは前記(a)工程で下部電極層を形成した後、前記下部電極層の上側に、前記多層膜を形成し、前記(c)工程の終了後、前記多層膜の上側に上部電極層を形成してもよい。

#### 【0051】

多層膜の上下に電極層を設ける場合、前記(c)工程で、前記両側端面に前記第2反強磁性層を設ける前に、前記多層膜よりもトラック幅方向に延出した前記下部電極層上から前記両側端面上にかけて絶縁層を形成することが好ましい。あるいは前記多層膜の両側端面の下方にトラック幅方向に延出した第1反強磁性層が残される場合、前記第1反強磁性層上から前記両側端面上にかけて絶縁層を形成する。

#### 【0052】

また前記(c)工程で前記第2フリー磁性層を形成した後、前記第2フリー磁性層の上面の前記第2反強磁性層と膜厚方向で対向する位置に絶縁層を形成し、その後、前記上部電極層を前記絶縁層上から前記多層膜上にかけて形成することが好ましく、あるいは前記(c)工程で前記第3反強磁性層を形成した後、前記第3反強磁性層上に絶縁層を形成し、その後、前記上部電極層を前記絶縁層上から前記多層膜上にかけて形成することが好ましい。

#### 【0053】

#### 【発明の実施の形態】

図1は本発明における第1実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側か

ら見た部分断面図である。図 1 に示される磁気検出素子は、記録媒体に記録された記録信号を再生するための MR ヘッドである。なおこの MR ヘッド上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。記録媒体との対向面は、例えば磁気検出素子を構成する薄膜の膜面に垂直で且つ磁気検出素子のフリー磁性層の外部磁界（記録信号磁界）が印加されていないときの磁化方向と平行な平面である。図 1 では、記録媒体との対向面は X-Z 平面に平行な平面である。

## 【 0 0 5 4 】

なお、磁気検出素子が浮上式の磁気ヘッドに用いられる場合、記録媒体との対向面とは、いわゆる ABS 面（Air Bearing Surface）のことである。

## 【 0 0 5 5 】

また磁気検出素子は、例えばアルミナチタンカーバイト（ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ ）で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

## 【 0 0 5 6 】

なお、トラック幅方向とは、外部磁界によって磁化方向が変動する領域の幅方向のことであり、例えば、フリー磁性層の外部磁界が印加されていないときの磁化方向、すなわち図示 X 方向である。トラック幅方向のフリー磁性層の幅寸法が磁気検出素子のトラック幅  $T_w$  を規定する。

## 【 0 0 5 7 】

なお、記録媒体は磁気検出素子の記録媒体との対向面に対向しており、図示 Z 方向に移動する。この記録媒体からの洩れ磁界方向は図示 Y 方向である。

## 【 0 0 5 8 】

図 1 に示す符号 20 は下部シールド層であり、下部シールド層 20 の上に下部ギャップ層 21 が形成される。前記下部シールド層 20 は NiFe 合金などの磁性材料で形成される。また前記下部ギャップ層 21 は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{SiO}_2$  などの絶縁材料で形成される。

## 【 0 0 5 9 】

図 1 に示すように、前記下部ギャップ層 2 1 上には、シードレイヤ 2 2、第 1 反強磁性層 2 3、固定磁性層 2 4、非磁性材料層 2 5、第 1 フリー磁性層 2 6、および非磁性層 2 7 がこの順で積層形成され、この実施形態において前記シードレイヤ 2 2 から前記非磁性層 2 7 までの各層を多層膜 3 0 と呼ぶ。

## 【 0 0 6 0 】

前記シードレイヤ 2 2 は、NiFe 合金、NiFeCr 合金あるいは Cr など形成される。シードレイヤ 2 2 は、例えば  $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60\text{at}\%}\text{Cr}_{40\text{at}\%}$  の膜厚 60 Å で形成される。

## 【 0 0 6 1 】

前記第 1 反強磁性層 2 3 は、PtMn 合金、または、X-Mn (ただし X は、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である) 合金で、あるいは Pt-Mn-X' (ただし X' は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Kr のいずれか 1 または 2 種以上の元素である) 合金で形成される。

## 【 0 0 6 2 】

第 1 反強磁性層 2 3 として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第 1 反強磁性層 2 3 及び固定磁性層 2 4 の交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn 合金であれば、48 kA/m 以上、例えば 64 kA/m を越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うブロッキング温度が 380℃ と極めて高い優れた第 1 反強磁性層 2 3 及び固定磁性層 2 4 の交換結合膜を得ることができる。

## 【 0 0 6 3 】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造 (fcc) であるが、熱処理によって CuAuI 型の規則型の面心正方構造 (fct) に構造変態する。第 1 反強磁性層 2 3 の膜厚は、80～300 Å である。

## 【 0 0 6 4 】

図 1 に示す固定磁性層 2 4 は人工フェリ構造である。前記固定磁性層 2 4 は磁性層 3 1、3 3 とその間に介在する非磁性中間層 3 2 の 3 層構造である。

## 【 0 0 6 5 】

前記磁性層 31、33 は、例えば NiFe 合金、Co、CoNiFe 合金、CoFe 合金、CoNi 合金などの磁性材料で形成される。磁性層 31 と磁性層 33 は、同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【0066】

また、非磁性中間層 32 は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu のうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成されている。特に Ru によって形成されることが好ましい。

## 【0067】

前記磁性層 31、33 は、それぞれ 10～70 Å 程度で形成される。また非磁性中間層 32 の膜厚は 3 Å～10 Å 程度で形成される。

## 【0068】

なお固定磁性層 24 は上記したいずれかの磁性材料を使用した 1 層構造あるいは上記したいずれかの磁性材料からなる層と Co 層などの拡散防止層の 2 層構造で形成されていても良い。

## 【0069】

前記非磁性材料層 25 は、固定磁性層 24 と第 1 フリー磁性層 26 との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Ag など導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特に Cu によって形成されることが好ましい。前記非磁性材料層 25 は例えば 18～30 Å 程度の膜厚で形成される。

## 【0070】

図 1 に示す実施形態では、前記第 1 フリー磁性層 26 は 1 層構造である。前記第 1 フリー磁性層 26 は、NiFe 合金などで形成される。前記第 1 フリー磁性層 26 は例えば 2 層構造であってもよく、かかる場合、Co や CoFe などからなる前記非磁性材料層 25 との相互拡散を防止するための拡散防止層と、その上に NiFe 合金などで形成された磁性材料層との 2 層構造とすることが好ましい。前記第 1 フリー磁性層 26 は、20～50 Å 程度で形成される。

## 【0071】

前記非磁性層 27 は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、R

h、Crのいずれか1種または2種以上で形成されることが好ましい。この中でも特にCuを選択することが好ましい。前記非磁性層27の膜厚は例えば6Å～11Åである。この程度の薄い膜厚であると、前記第1フリー磁性層26と後述する第2フリー磁性層間でRKKY相互作用による交換結合が発生し、前記第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層の磁化はトラック幅方向（図示X方向）と平行な方向であって且つ反平行状態になる。

## 【0072】

なお前記非磁性層27にRuを選択したとき、前記第1フリー磁性層26の膜厚が薄いと、MR効果を低下させてしまうので、かかる場合、非磁性層27の下に後述するスペキュラー層が挿入されていることが好ましい。

## 【0073】

一方、前記非磁性層27の膜厚を6Åよりも薄くしていくと、今度は、前記第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層の磁化とがトラック幅方向（図示X方向）に同じ方向で揃えられる。なお図1の実施形態では非磁性層27が形成されていなくてもよい。

## 【0074】

図1に示す実施形態では、前記多層膜30の両側端面30aが下方から上方（図示Z方向）に向けて前記多層膜30のトラック幅方向（図示X方向）への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成される。

## 【0075】

図1に示すように、前記多層膜30のトラック幅方向への幅寸法よりもさらにトラック幅方向（図示X方向）に長く延ばされて形成された前記下部ギャップ層21上から前記多層膜30の両側端面30aの一部にかけてシードレイヤ34が形成される。さらに前記シードレイヤ34上から前記多層膜30の両側端面30aにかけて第2反強磁性層35が形成され、さらに前記第2反強磁性層35の上に強磁性層36及び非磁性層37が形成されている。

## 【0076】

前記シードレイヤ34は前記シードレイヤ22と同じ材質で形成される。また前記第2反強磁性層35は、第1反強磁性層23と同様にPtMn合金、または



、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成される。

## 【0077】

また強磁性層36は、NiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金、Coなどの磁性材料で形成される。また前記非磁性層37は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成される。

## 【0078】

図1に示す実施形態では、前記多層膜30の最上層の非磁性層27上からトラック幅方向の両側に広がる非磁性層37上にかけて第2フリー磁性層38が形成されている。前記第2フリー磁性層38は第1フリー磁性層26と同様に、NiFe合金などで形成される。また図1に示す実施形態では前記第2フリー磁性層38は1層構造であるが、2層以上の積層構造であってもよい。

## 【0079】

図1に示す実施形態では前記第2フリー磁性層38上に、キャップ層39が形成される。このキャップ層39は前記第2フリー磁性層38を酸化から防止する保護層としての役割を有している。また前記キャップ層39は、後述するようにスペキュラー層あるいはバックド層としても使用できる。

## 【0080】

前記キャップ層39上であってトラック幅方向（図示X方向）の素子両側端部C上には電極層40が形成されている。前記電極層40は、例えば、Au、W、Cr、Ru、Rh、Taなどで形成される。

## 【0081】

前記電極層40上から前記電極層40間のトラック幅方向の間隔A内から露出するキャップ層39上にかけて上部ギャップ層41が形成され、さらに前記上部ギャップ層41上に上部シールド層42が形成されている。前記上部ギャップ層41は $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成され、前記上部シールド層42

はNiFe合金などの磁性材料で形成される。

【0082】

以下に図1に示す磁気検出素子の特徴的部分について説明する。図1に示す実施形態では、前記多層膜30の両側端面30aが下方から上方に向けて（図示Z方向に向けて）前記多層膜30のトラック幅方向（図示X方向）への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面で形成され、前記両側端面30aのトラック幅方向の両側に第2反強磁性層35が形成されている。

【0083】

前記第2反強磁性層35は、その上に形成された強磁性層36との間で交換結合磁界を生じさせ、前記強磁性層36を図示X方向に磁化固定する。そうすると前記強磁性層36と非磁性層37を介して膜厚方向で対向する第2フリー磁性層38の素子両側端部Cが、前記強磁性層36との間で発生するRKKY相互作用による交換結合によって図示X方向とは反対方向に磁化固定される。

【0084】

前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dは、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cからの交換相互作用によるバイアス磁界により図示X方向とは反対方向に磁化されるが、この第2フリー磁性層38は第2反強磁性層35からの強い交換結合磁界等を受けないため、外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化される。さらに前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dと非磁性層27を介して膜厚方向で対向する第1フリー磁性層26は、前記第2フリー磁性層38の素子中央部との間で発生するRKKY相互作用による交換結合によって図示X方向に単磁区化され、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dとともに、磁化の反平行状態を保ちながら、外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化される。

【0085】

図1に示す実施形態では、このように第2反強磁性層35を多層膜30の素子両側端部Cに設けた点と、さらに前記第2フリー磁性層38を、前記多層膜30のトラック幅方向（図示X方向）の幅寸法よりもさらにトラック幅方向に延出形成し、この延出形成された第2フリー磁性層38の素子両側端部Cを磁化固定し

て、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dを外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化した点に特徴がある。

【0086】

これによって図1に示すように、前記第2フリー磁性層38及び第1フリー磁性層26の磁化制御を適切に行うことができるとともに、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上には電極層40のみを形成すればよいので、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上で盛り上がる層膜厚は、前記電極層40の膜厚T5のみとなり、従来に比べて前記層膜厚を薄くすることができる。

【0087】

この結果、前記下部シールド層20と上部シールド層42間のシールド間隔は、前記素子両側端部CでT6となり、素子中央部Dでのシールド間隔T7に近づけることができ、よって従来に比べて実効再生トラック幅やPW50の広がりを実効的に抑制できる。また前記電極層40上面と間隔A内に露出するキャップ層39間の段差は小さくなるから、前記電極層40の内側端面40aや、前記内側端面40aとキャップ層39の上面との角部40dに、所定膜厚の上部ギャップ層41を付着させやすく、従来に比べて上部シールド層42と前記電極層40及び多層膜30間の絶縁性を向上させることができる。

【0088】

図1に示す実施形態では、前記第2反強磁性層35の上面間のトラック幅方向における間隔でトラック幅Twが規制される。前記トラック幅Twは $0.1\mu\text{m}$ ～ $0.2\mu\text{m}$ 程度であることが好ましい。前記トラック幅Twは、記憶装置の記録フォーマット、トラック密度、トラックピッチなどによって決められる。前記トラック幅Twは走査型顕微鏡で測定したトラック幅（これを光学的トラック幅O-Twとも言う）であり、この光学的トラック幅Twに、実際に磁気再生に寄与するトラック幅である実効再生トラック幅Mag-Twの幅寸法が一致すれば最も好ましい。実効再生トラック幅の幅寸法は例えばフルトラックプロファイル法やマイクロトラックプロファイル法等の既存の方法で測定できる。

【0089】

図1に示す実施形態では上記したように、実効再生トラック幅Mag-Twの

トラック幅方向（図示X方向）への広がりを従来に比べて抑制できる。このため図1に示す実施形態では、従来に比べて実効再生トラック幅 $M_{ag}-T_w$ を光学的トラック幅 $O-T_w$ に、より効果的に近づけることができ、狭トラック化に適切に対応可能な磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【0090】

次に図1に示す実施形態では、前記多層膜30中の第1フリー磁性層26は不可欠な層である。この第1フリー磁性層26が仮に形成されないと、後述する製造方法では、前記非磁性材料層25の上面がイオンミリングの影響を受けたり、あるいは非磁性材料層25の上面に非磁性層27が残されたりする。このため前記非磁性材料層25とフリー磁性層との界面でのスピン依存電子散乱が効果的に起こらず、再生特性の低下に繋がって好ましくない。ただし界面でのスピン依存散乱により磁性層内部でのスピン依存バルク散乱を利用するCIP-GMR等の場合は、第1フリー磁性層26が形成されなくてもよい場合がある。

## 【0091】

したがって図1に示すCIP-GMRの実施形態では、必ず前記多層膜30中に第1フリー磁性層26を形成しなければならない。

## 【0092】

図1に示す実施形態では、前記第1フリー磁性層26上に非磁性層27が形成されている。この非磁性層27は形成されていなくてもよいが、この非磁性層27は磁気検出素子の製造工程中では、前記第1フリー磁性層26上面を酸化から防止する酸化防止層としての役割を有しており、成膜段階では前記非磁性層27は図1よりももっと厚い膜厚で形成されている。

## 【0093】

図1に示す実施形態では、前記多層膜30の両側に形成された強磁性層36上にも非磁性層37が形成されている。図1に示す実施形態では、第1フリー磁性層26及び強磁性層36上のどちらにも非磁性層27、37が形成されているが、どちらか一方にのみ前記非磁性層が設けられていてもよい。

## 【0094】

なお上記したように、前記非磁性層の膜厚が6Å～11Åであると、その上下

で対向する強磁性層間には R K K Y 相互作用が働き磁化が互いに反平行になり、非磁性層の膜厚が 6 Å よりも薄くなると、その上下で対向する強磁性層は互いに同じ方向に磁化される。例えば強磁性層 3 6 上に形成された非磁性層 3 7 が 6 Å ~ 1 1 Å の膜厚であり、第 1 フリー磁性層 2 6 上の非磁性層 2 7 が 6 Å 以下の膜厚であると、強磁性層 3 6 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間では R K K Y 相互作用による交換結合により磁化が互いに反平行になり、一方、第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D と第 1 フリー磁性層の磁化は互いに同じ方向に磁化されることになる。

## 【 0 0 9 5 】

次に図 1 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 上にキャップ層 3 9 が形成され、このキャップ層 3 9 をスペキュラー層として機能させることができる。

## 【 0 0 9 6 】

前記スペキュラー層の形成により、前記スペキュラー層に達した伝導電子（例えばアップスピンを持つ伝導電子）は、そこでスピン状態（エネルギー、量子状態など）を保持したまま鏡面反射する。そして鏡面反射した前記アップスピンを持つ伝導電子は、移動向きを変えて第 2 フリー磁性層 3 8、第 1 フリー磁性層 2 6 内を通り抜けることが可能になる。

## 【 0 0 9 7 】

このため本発明では、スペキュラー層を設けることで、前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程  $\lambda +$  を従来に比べて伸ばすことが可能になり、よって前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程  $\lambda +$  と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程  $\lambda -$  との差を大きくすることができ、従って抵抗変化率（ $\Delta R / R$ ）の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になる。

## 【 0 0 9 8 】

前記スペキュラー層の材質としては、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここで Q は B、S i、N、T i、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni から選択される 1 種以上）、R-O（ここで R は Cu、T i、V、Cr、Z r、N b、Mo、H f、T a、W

から選択される1種以上)の酸化物、Al-N、Al-Q-N(ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上)、R-N(ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上)の窒化物、半金属ホイッスラー合金などを提示できる。

## 【0099】

ただし前記スペキュラー層が酸化物などで形成され、電極層40と第2フリー磁性層38間が絶縁されてしまう場合は、センス電流が適切に多層膜30内に流れなくなるので、前記電極層40下に前記スペキュラー層が設けられていない方が好ましい。

## 【0100】

また前記キャップ層39はバックド層であってもよい。前記バックド層は例えばCu、Au、Cr、Ruなどで形成される。前記バックド層が形成されることによって、磁気抵抗効果に寄与するアップスピンの伝導電子(上向きスピン: up spin)における平均自由行程(mean free path)を延ばし、いわゆるスピフィルター効果(spin filter effect)により磁気磁気素子において、大きな抵抗変化率が得られ、高記録密度化に対応できるものとなる。

## 【0101】

また図1に示す実施形態において、前記キャップ層39はバックド層/スペキュラー層との積層構造であってもよい。

## 【0102】

後述する製造方法によれば、前記第2フリー磁性層38上に容易に且つ適切にスペキュラー層あるいはバックド層、またはバックド層とスペキュラー層との積層構造であるキャップ層39を形成することができる。

## 【0103】

また前記第1フリー磁性層26と前記第2フリー磁性層38間に形成される非磁性層27も上記したスペキュラー層で形成されてよい。かかる場合前記非磁性層27を非磁性材料で形成した後、酸化などして前記非磁性層27をスペキュラー層にする。

## 【 0 1 0 4 】

次に前記多層膜 3 0 の下面と両側端面 3 0 a 間の角度  $\theta 1$  は、 $60^\circ$  以上で  $90^\circ$  以下であることが好ましい。前記角度を  $60^\circ$  以上にすることで、前記第 2 反強磁性層 3 5 の上方における内側先端部 3 5 a の先細り構造を改善でき、前記内側先端部 3 5 a での膜厚を厚く形成することができる。従って前記第 2 反強磁性層 3 5 の内側先端部 3 5 a と強磁性層 3 6 間で発生する交換結合磁界を大きなものにでき、前記強磁性層 3 6 の素子中央部 D 付近での磁化を適切に磁化固定でき、この結果、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C の素子中央部 D 付近の磁化を確実に固定できる。よって従来に比べてオフトラック特性を向上でき、また十分な線形性を保つことができるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【 0 1 0 5 】

また図 1 に示す磁気検出素子では、前記第 2 反強磁性層 3 5 の下にシードレイヤ 3 4 が形成されている。前記シードレイヤ 3 4 を設けることで、耐エレクトロマイグレーションの向上に代表される通電信頼性や E S D 耐性の向上を期待することができる。

## 【 0 1 0 6 】

また図 1 に示す実施形態では、前記電極層 4 0 のトラック幅方向における下面間の間隔 A が、トラック幅 T w と一致しているが、一点鎖線で示すように前記電極層 4 0 の内側端面 4 0 a が、前記トラック幅 T w 内にオーバーラップして形成され、前記電極層 4 0 のトラック幅方向における下面間の間隔 A がトラック幅 T w よりも小さく形成されていてもよい。これによって前記電極層 4 0 から多層膜 3 0 内に流れるセンス電流をトラック幅 T w 内にのみ確実に流すことができ、再生出力の向上とサイドリーディングの低減を図ることが可能である。

## 【 0 1 0 7 】

図 2 は、本発明における第 2 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 0 8 】

図 1 に示す磁気検出素子は、電極層 4 0 が多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示

X方向)の両側上方に形成されており、センス電流が前記多層膜30内の各層を膜面と平行な方向に流れるCIP (Current In the Plane) 型と呼ばれる構造であるが、図2は、電極を兼ね備えたシールド層20、42が多層膜30の膜厚方向に対向し、前記シールド層20、42からのセンス電流が前記多層膜30の各層を膜厚方向に流れるCPP (Current Perpendicular to the Plane) 型と呼ばれる構造である。

## 【0109】

なお図2において図1と同じ符号が付けられている層は図1と同じ層を表しているのものでそちらを参照されたい。

## 【0110】

図2に示す磁気検出素子では、前記多層膜30のトラック幅方向(図示X方向)における幅寸法よりもさらにトラック幅方向に延出形成された下部シールド層20上から前記多層膜30の両側端面30a上にかけて絶縁層45が形成されている。前記絶縁層45は $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成されていることが好ましい。またこの絶縁層45を上記したスペキュラー層(多層膜30の両側端面30aの位置での伝導電子の拡散散乱によるMR特性の劣化を防止する層)として機能させてもよい。

## 【0111】

図2に示す実施形態では前記絶縁層45によって前記多層膜30の両側端面30aと前記多層膜30よりも延出した下部シールド層20上が確実に絶縁されている。図2に示すように前記絶縁層45上にはシードレイヤ34が形成され、この上に第2反強磁性層35が形成されている。

## 【0112】

また図2に示す実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上にキャップ層39を介して絶縁層46が形成され、前記絶縁層46上から前記キャップ層39上にかけて上部シールド層42が形成されている。前記絶縁層46も前記絶縁層45と同じように $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成されている。

## 【0113】



この絶縁層 4 6 の形成によって前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上が確実に絶縁されている。

【 0 1 1 4 】

図 2 の C P P 型の磁気検出素子において、シールド層 2 0、4 2 と磁気検出素子の素子両側端部 C 間を絶縁層 4 5、4 6 によって絶縁すれば、前記シールド層 2 0、4 2 から前記磁気検出素子に流れるセンス電流は、多層膜 3 0 内のみを適切に流れ、センス電流の分流ロスを適切に抑制することができる。よって再生出力の大きい磁気検出素子を製造することができる。なお前記絶縁層 4 5、4 6 は少なくともどちらか一方に形成されていればよい。

【 0 1 1 5 】

また図 2 に示す実施形態では、多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側に第 2 反強磁性層 3 5 を設け、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上には絶縁層 4 6 のみを設ければよいから、従来に比べて素子両側端部 C 上での層の盛り上がりを小さくできる。よって前記下部シールド層 2 0 と上部シールド層 4 2 間のシールド間隔 T 8 を、素子中央部 D でのシールド間隔 T 9 に近づけることができ、よって従来に比べて実効再生トラック幅や P W 5 0 の広がりを効果的に抑制できる。また図 2 に示す実施形態では、前記絶縁層 4 6 をほぼ平坦な第 2 フリー磁性層 3 8 上にキャップ層 3 9 を介して形成できるから、図 2 1 に示す従来例のように第 2 反強磁性層 7 上に絶縁層 1 2 を形成しなければならない場合に比べて、確実に前記絶縁層 4 6 によって磁気検出素子の素子両側端部 C を絶縁することが可能である。

【 0 1 1 6 】

図 3 は本発明における第 3 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図 1 と同じ符号が付けられている層は図 1 と同じ層を示している。

【 0 1 1 7 】

図 3 に示す磁気検出素子では、図 1 と異なり、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に強磁性層 4 7、第 3 反強磁性層 4 9 及び電極層 4 0 が形成されている。また図 3 に示すように、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 上に

は非磁性層 4 8 が形成されている。

【0 1 1 8】

図 3 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に第 3 反強磁性層 4 9 及び電極層 4 0 が形成されているから、前記素子両側端部 C 上で盛り上がる層厚みは T 1 0 となり、この厚み T 1 0 は、図 1 のように第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に電極層 4 0 のみが形成されている場合に比べて厚くなる。

【0 1 1 9】

しかしながらこの実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C の下側には、第 2 反強磁性層 3 5 が設けられ、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、前記第 2 反強磁性層 3 5 との間で発生する交換結合磁界によって磁化が図示 X 方向に固定された強磁性層 3 6 との間で発生する交換相互作用により磁化固定されているから、前記第 3 反強磁性層 4 9 は、さらに確実に前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C を磁化固定するための補助的な層であり、前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚は、図 2 0 に示す従来例の第 2 反強磁性層 7 よりも薄く形成できる。

【0 1 2 0】

図 3 に示す前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚 T 1 1 は、5 0 Å 以上で 1 5 0 Å 以下であることが好ましい。前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚 T 1 1 が 5 0 Å 以下の膜厚で形成されると、前記第 3 反強磁性層 4 9 と強磁性層 4 7 間で発生する交換結合磁界が小さくなりすぎあるいは交換結合磁界が発生しない。よって前記強磁性層 4 7 を適切に図示 X 方向に磁化固定できず、従って前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C と前記強磁性層 4 7 間での交換相互作用も非常に弱く、前記素子両側端部 C をより確実に磁化固定するための補助的なバイアス層として機能させることができない。前記第 3 反強磁性層 4 9 と強磁性層 4 7 間で生じる交換結合磁界は 8 k (A/m) 以上であることが好ましい。

【0 1 2 1】

また前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚 T 1 1 が、1 5 0 Å 以上で形成されると、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上で盛り上がる層厚み T 1 0 が従来

と変わらない程度に大きくなり、従来と同様に実効再生トラック幅の広がりや絶縁性の低下などの問題が発生し好ましくない。

## 【 0 1 2 2 】

図 3 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の膜厚方向の上下からバイアス磁界がかけられ、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C の特に素子中央部 D 付近での磁化固定を確実に行うことができ、図 1 に比べてオフトラック特性をさらに向上させ、十分な線形性を保つことができるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造できる。

## 【 0 1 2 3 】

図 3 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 上に非磁性層 4 8 が設けられているが、この非磁性層 4 8 は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上からなる材質で形成されることが好ましい。この非磁性層 4 8 は後述する製造方法で詳しく説明するように、前記第 2 フリー磁性層 3 8 表面を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有している。

## 【 0 1 2 4 】

また前記非磁性層 4 8 は、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C と強磁性層 4 7 間に形成されていないが、形成されていてもよい。かかる場合、前記非磁性層 4 8 の膜厚が  $6 \text{ \AA} \sim 11 \text{ \AA}$  であると、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C と強磁性層 4 7 間で RKKY 相互作用による交換結合が発生し、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C と強磁性層 4 7 はトラック幅方向（図示 X 方向）であって且つ反平行状態に磁化される。

## 【 0 1 2 5 】

一方、前記非磁性層 4 8 の膜厚を  $6 \text{ \AA}$  よりも薄くしていくと、今度は、前記第 2 フリー磁性層 3 8 と強磁性層 4 7 の磁化とがトラック幅方向（図示 X 方向）に同じ方向で揃えられる。

## 【 0 1 2 6 】

ここで、例えば強磁性層 4 7 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に非磁性層 4 8 が設けられ、前記強磁性層 4 7 と第 2 フリー磁性層 3 8 との磁化が互

いに反平行状態となる時、強磁性層 3 6 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間にも、図 1 に示す非磁性層 3 7 を設け、強磁性層 3 6 と前記第 2 フリー磁性層 3 8 との磁化を互いに反平行状態にすることもできる。

## 【 0 1 2 7 】

図 4 は本発明における第 4 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 2 8 】

図 4 に示す実施形態では、図 3 と異なり、第 2 フリー磁性層 3 8 上に第 4 反強磁性層 5 0 が形成され、前記第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C 上に第 3 反強磁性層 4 9、電極層 4 0 が形成されている。

## 【 0 1 2 9 】

前記第 4 反強磁性層 5 0 の膜厚は 2 0 Å 以上で 5 0 Å 以下であることが好ましい。上記のように第 4 反強磁性層 5 0 を 5 0 Å 以下の薄い膜厚で形成することにより、成膜段階において第 4 反強磁性層 5 0 は反強磁性の性質を有さなくなり、磁場中アニールを施しても、第 4 反強磁性層 5 0 が規則化変態しにくく第 4 反強磁性層 5 0 と第 2 フリー磁性層 3 8 間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、第 2 フリー磁性層 3 8 の磁化全体が、固定磁性層 2 4 と同じように強固に固定されることがない。

## 【 0 1 3 0 】

また第 4 反強磁性層 5 0 が 2 0 Å 以上で形成されとしたのは、この程度の膜厚がないと、第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C 上に第 3 反強磁性層 4 9 を形成しても、第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C が反強磁性の性質を帯び難く、前記第 4 反強磁性層 5 0 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

## 【 0 1 3 1 】

図 4 に示す実施形態においても、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、第 2 反強磁性層 3 5 との間で発生する交換結合磁界によって図示 X 方向に磁化固定された強磁性層 3 6 間での交換相互作用と、第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C 間で生じる交換結合磁界によって、より確実に図示 X 方向に磁化固定が

なされ、図 1 に比べてオフトラック特性をさらに向上させ、十分な線形性を保つことができるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造できる。

## 【 0 1 3 2 】

また図 4 における実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に第 4 反強磁性層 5 0 を介して形成された第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚を従来に比べてより効果的に小さく形成することができる。その理由は、前記第 3 反強磁性層 4 9 の下に第 4 反強磁性層 5 0 が形成されているから、この第 4 反強磁性層 5 0 と合わせて一体の反強磁性層を形成できるため前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚は薄くても、前記第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適度な大きさの交換結合磁界を生じさせることができるからである。また第 3 反強磁性層 4 9 は、第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 下に形成された第 2 反強磁性層 3 5 からのバイアス磁界を補助するための補助的な層であるため、前記第 3 反強磁性層 4 9 と重ねられた第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C からはある程度の大きさの交換結合磁界が生じれば補助的なバイアス層として機能させることができるからである。前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚は、第 4 反強磁性層 5 0 の膜厚との総合膜厚が 5 0 Å 以上で 2 0 0 Å 以下になるように調整されることが好ましい。

## 【 0 1 3 3 】

また前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚を従来よりも薄く形成できることから、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上で盛り上がる層厚み T 1 2 を従来に比べて小さくでき、よって従来に比べて実効再生トラック幅や P W 5 0 の広がりを実効果的に抑制でき、さらに上部シールド層 4 2 と電極層 4 0 間等の絶縁性を適切に確保できるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【 0 1 3 4 】

図 5 は本発明の第 5 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【 0 1 3 5 】

図 5 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に第

3 反強磁性層 4 9 が形成され、さらに前記第 3 反強磁性層 4 9 上に T a、C r など形成された非磁性中間層 5 1 を介して電極層 4 0 が形成されている。

## 【 0 1 3 6 】

図 5 に示す実施形態では、前記第 3 反強磁性層 4 9 間のトラック幅方向（図示 X 方向）に形成された間隔 A 内では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 表面が一部削られ、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の膜厚が前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C の膜厚よりも薄くなっている。ただし図 5 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 表面 3 8 a が点線で示すように全く削られず、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D での膜厚と前記素子両側端部 C での膜厚とが均一であってもよい。

## 【 0 1 3 7 】

さらには本発明では、前記間隔 A 内に第 3 反強磁性層 4 9 が一部、薄い膜厚で残っていてもよく、その残された第 3 反強磁性層 4 9 の表面 4 9 a は、図 5 では一点鎖線で示されている。前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 上に残された前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚は 5 0 Å 以下で形成されることが好ましい。この程度に薄く形成されると前記第 3 反強磁性層 4 9 の素子中央部 D と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 間で交換結合磁界が生じず、あるいは生じてもその値は小さく、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D が強固に磁化固定されることがない。

## 【 0 1 3 8 】

図 5 に示す実施形態では、前記第 3 反強磁性層 4 9 及び電極層 4 0 の内側端面 4 9 b、4 0 a が下方から上方に向けて（図示 Z 方向に向けて）、前記間隔 A のトラック幅方向への幅寸法が徐々に大きくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成されているが、前記内側端面 4 9 b、4 0 a が図示 Z 方向と同一な垂直面で形成されていてもよい。

## 【 0 1 3 9 】

図 5 に示す実施形態においても、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、第 2 反強磁性層 3 5 との間で発生する交換結合磁界によって図示 X 方向に磁化固定された強磁性層 3 6 間での交換相互作用と、第 3 反強磁性層 4 9 の素子両

側端部C間で生じる交換結合磁界によって、より確実に図示X方向に磁化固定がなされ、図1に比べてオフトラック特性をさらに向上させ、十分な線形性を保つことができるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造できる。

## 【0140】

また図5における実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上に形成された第3反強磁性層49の膜厚を従来に比べてより効果的に小さく形成することができる。前記第3反強磁性層49は補助的なバイアス層であり、前記第3反強磁性層49と第2フリー磁性層38の素子両側端部C間で発生する交換結合磁界がある程度大きければ、この交換結合磁界と、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと前記強磁性層36間で作用する交換相互作用との相乗効果で、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cをより効果的に磁化固定することができるからである。

## 【0141】

このように図5に示す実施形態では、前記第3反強磁性層49の膜厚を従来よりも薄く形成できることから、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上で盛り上がる層厚みT13を従来に比べて小さくでき、よって従来に比べて実効再生トラック幅やPW50の広がりを効果的に抑制でき、さらに上部シールド層42と電極層40間等の絶縁性を適切に確保できるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【0142】

図3ないし図5はすべて電極層40が多層膜30のトラック幅方向の両側上方に形成され、前記電極層40からのセンス電流が前記多層膜30の各層内を膜面と平行な方向に流れるCIP型の磁気検出素子であったが、図6ないし図8は、それぞれ図3ないし図5に示すCIP構造をCPP型の磁気検出素子に代えたものである。

## 【0143】

図6は本発明における第6実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であり、図2及び図3と同じ符号が付けられている層は、図2及び図3と同じ層を示している。

## 【 0 1 4 4 】

図 6 に示す磁気検出素子では図 3 と同様に、第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上には強磁性層 4 7、第 3 反強磁性層 4 9 が形成されている。図 6 に示す実施形態では、電極を兼ね備えた上部シールド層 4 2 から前記第 3 反強磁性層 4 9 にセンス電流が分流するのを抑制するために前記第 3 反強磁性層 4 9 上には絶縁層 5 2 が設けられている。前記絶縁層 5 2 のトラック幅方向（図示 X 方向）における内側先端部 5 2 a は、完全に前記第 3 反強磁性層 4 9 の内側端面 4 9 b を覆い、前記内側先端部 5 2 a が前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の両側端部上にまで延びて形成されていることが好ましい。これによってより効果的に前記センス電流が前記第 3 反強磁性層 4 9 に分流するのを抑制できる。

## 【 0 1 4 5 】

図 7 は、本発明における第 7 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であり、図 2 及び図 4 と同じ符号が付けられている層は、図 2 及び図 4 と同じ層を示している。

## 【 0 1 4 6 】

図 7 に示す磁気検出素子では図 4 と同様に、第 2 フリー磁性層 3 8 上には第 4 反強磁性層 5 0 が形成され、さらに前記第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C 上には第 3 反強磁性層 4 9 が形成されている。図 7 に示す実施形態では、電極を兼ね備えた上部シールド層 4 2 から前記第 3 反強磁性層 4 9 にセンス電流が分流するのを抑制するために前記第 3 反強磁性層 4 9 上には絶縁層 5 2 が設けられている。前記絶縁層 5 2 のトラック幅方向（図示 X 方向）における内側先端部 5 2 a は、完全に前記第 3 反強磁性層 4 9 の内側端面 4 9 b を覆い、前記内側先端部 5 2 a が前記第 2 フリー磁性層 3 8 上に形成された第 4 反強磁性層 5 0 の素子中央部 D の両側端部上にまで延びて形成されていることが好ましい。これによってより効果的に前記センス電流が前記第 3 反強磁性層 4 9 に分流するのを抑制できる。

## 【 0 1 4 7 】

図 8 は、本発明における第 8 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であり、図 2 及び図 5 と同じ符号が付けられている層は、図



2 及び図 5 と同じ層を示している。

【 0 1 4 8 】

図 8 に示す磁気検出素子では図 5 と同様に、第 2 フリー磁性層 3 8 上には第 3 反強磁性層 4 9 が形成されている。図 8 に示す実施形態では、電極を兼ね備えた上部シールド層 4 2 から前記第 3 反強磁性層 4 9 にセンス電流が分流するのを抑制するために前記第 3 反強磁性層 4 9 上には絶縁層 5 3 が設けられている。なお図 8 に点線で示すように、前記第 3 反強磁性層 4 9 の内側端面 4 9 b 上にも絶縁層 7 0 が形成されていることが好ましい。

【 0 1 4 9 】

図 6 ないし図 8 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、その上下からバイアス磁界が供給されるため、より確実に図示 X 方向に磁化固定がなされ、図 2 に比べてオフトラック特性をさらに向上させ、十分な線形性を保つことができるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造できる。

【 0 1 5 0 】

また図 6 ないし図 8 における実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に形成された第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚を従来に比べてより効果的に小さく形成することができる。前記第 3 反強磁性層 4 9 は補助的なバイアス層であり、図 6 では前記第 3 反強磁性層 4 9 と強磁性層 4 7 間、図 7 では、第 3 反強磁性層 4 9 と第 4 反強磁性層 5 0 の素子両側端部 C 間、図 8 では第 3 反強磁性層 4 9 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間で発生する交換結合磁界がある程度発生すれば、この交換結合磁界と、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C と前記強磁性層 3 6 間で作用する交換相互作用との相乗効果で、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C をより適切に磁化固定することができるからである。

【 0 1 5 1 】

このように図 6 ないし図 8 に示す実施形態では、前記第 3 反強磁性層 4 9 の膜厚を従来よりも薄く形成できることから、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上で盛り上がる層厚みを従来に比べて小さくでき、よって従来に比べて実効再生トラック幅や P W 5 0 の広がりを実効果的に抑制でき、さらに上部シールド

層42と電極層40間等の絶縁性を適切に確保できるなど再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能である。

【0152】

図9ないし図14は、図1における磁気検出素子の製造工程図である。各図は、磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0153】

図9に示す工程では、下から下部シールド層20、下部ギャップ層21、シードレイヤ22、第1反強磁性層23、固定磁性層24、非磁性材料層25、フリー磁性層26及び非磁性層27を連続成膜する。なおシードレイヤ22から非磁性層27までの各層を多層膜30と呼ぶ。成膜工程にはスパッタや蒸着が使用される。

【0154】

前記下部シールド層20をNiFe合金などの磁性材料で、下部ギャップ層21を $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成する。また前記シードレイヤ22をNiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成する。また前記第1反強磁性層23を、元素X（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Osのうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料、あるいはX-Mn-X'合金（ただし元素X'は、Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Ir, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である）を用いて形成する。

【0155】

また前記固定磁性層24は人工フェリ構造と呼ばれる構造で、磁性層31、33間に非磁性中間層32が介在した3層構造となっている。前記磁性層31、32をCoFe合金、CoFeNi合金、Co、NiFe合金などの磁性材料で形成し、前記非磁性中間層32をRu、Rh、Ir、Cr、Re、Cuなどの非磁性導電材料で形成する。

【0156】

また前記非磁性材料層 2 5 を、C u、C r、A u、A g など導電性を有する非磁性材料により形成する。また第 1 フリー磁性層 2 6 を N i F e 合金、N i F e C o 合金等の磁性材料で形成する。さらに非磁性層 2 7 を貴金属で形成する。具体的には、R u、R e、P d、O s、I r、P t、A u、R h、C u のいずれか 1 種または 2 種以上からなる貴金属で形成することが好ましい。または前記非磁性層 2 7 を C r で形成してもよい。

## 【 0 1 5 7 】

R u や C u などの貴金属からなる非磁性層 2 7 は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である。したがって非磁性層 2 7 の膜厚を薄くしても第 1 フリー磁性層 2 6 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止できる。

## 【 0 1 5 8 】

図 9 では非磁性層 2 7 を 3 Å 以上で 2 0 Å 以下で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚の非磁性層 2 7 によっても適切に第 1 フリー磁性層 2 6 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。

## 【 0 1 5 9 】

なお前記非磁性層 2 7 を強制的に酸化して酸化層とし、これをスペキュラー層として残してもよい。スペキュラー層の材質については後述する。

## 【 0 1 6 0 】

ここで 1 回目の磁場中アニールを施す。トラック幅 T w (図示 X 方向) と直交する方向である第 1 の磁界 (図示 Y 方向) を印加しつつ、第 1 の熱処理温度で熱処理し、第 1 の反強磁性層 2 3 と固定磁性層 2 4 を構成する磁性層 3 1 との間に交換結合磁界を発生させて、磁性層 3 1 の磁化を図示 Y 方向に固定する。もう一方の磁性層 3 3 の磁化は、磁性層 3 1 との間で働く R K K Y 相互作用による交換結合によって図示 Y 方向とは逆方向に固定される。なお例えば第 1 の熱処理温度を 2 7 0 ° C とし、磁界の大きさを 8 0 0 k (A / m) とする。

## 【 0 1 6 1 】

次に図 1 0 に示す工程では図 9 に示す非磁性層 2 7 上にリフトオフ用のレジスト層 6 0 を形成する。

## 【 0 1 6 2 】

そして前記レジスト層 6 0 に覆われていない、シードレイヤ 2 2 から非磁性層 2 7 までの多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側領域をイオンミリングなどで除去する。

#### 【 0 1 6 3 】

また図 1 0 に示す工程で、前記レジスト層 6 0 下に残された多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 3 0 a は、下方から上方（図示 Z 方向）に向うにしたがって前記多層膜 3 0 のトラック幅方向への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成される。

#### 【 0 1 6 4 】

なお図 1 0 工程では、前記レジスト層 6 0 下に残された多層膜 3 0 の下面と両側端面 3 0 a 間の角度  $\theta 1$  が  $60^\circ$  以上で  $90^\circ$  以下となるように、前記多層膜 3 0 のトラック幅方向の両側を削る際のイオンミリング角度を調整する必要がある。前記イオンミリングの方向はできる限り、下部シールド層 2 0 表面に対し垂直方向（図示 Z 方向と平行な方向）に近い方向にすることが好ましく、イオンミリング角度  $\theta 2$ （図示 Z 方向からの傾き）を  $0^\circ$  以上で  $30^\circ$  以下とすることが好ましい。

#### 【 0 1 6 5 】

次に図 1 1 に示す工程では、図 1 0 に示す多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域にまずシードレイヤ 3 4 をスパッタ成膜する。前記シードレイヤ 3 4 は、上記したシードレイヤ 2 2 と同様の材質で形成される。次に前記シードレイヤ 3 4 上であって前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a 上にかけて第 2 反強磁性層 3 5 をスパッタ成膜し、さらに前記第 2 反強磁性層 3 5 上に強磁性層 3 6、および非磁性層 3 7 を連続成膜する。

#### 【 0 1 6 6 】

前記第 2 反強磁性層 3 5 には第 1 反強磁性層 2 3 として使用される反強磁性材料を使用できる。また強磁性層 3 6 を Ni Fe 合金や Co Fe 合金、Co Fe N i 合金などの磁性材料で形成する。また非磁性層 3 7 を、非磁性層 2 7 と同様に Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上からなる材質で形成する。

## 【 0 1 6 7 】

図 1 1 工程では、第 2 反強磁性層 3 5 と強磁性層 3 6 とを連続して成膜している。したがって後述する 2 回目の磁場中アニールで前記第 2 反強磁性層 3 5 と強磁性層 3 6 間に交換結合磁界を生じさせることができる。また上記したように前記多層膜 3 0 の下面と両側端面 3 0 a 間の角度  $\theta 1$  を  $60^\circ$  以上で  $90^\circ$  以下で形成したことで前記第 2 反強磁性層 3 5 の上方の内側先端部 3 5 a の膜厚を厚く形成できる。従ってこの内側先端部 3 5 a と強磁性層 3 6 間で適切な大きさの交換結合磁界を生じさせることができ、前記強磁性層 3 6 の内側先端部 3 6 a を適切に図示 X 方向に磁化固定することができる。

## 【 0 1 6 8 】

また前記第 2 反強磁性層 3 5 の膜厚を、多層膜 3 0 の膜厚範囲内で自由に設定でき、前記第 2 反強磁性層 3 5 を前記第 1 反強磁性層 2 3 と同等以上の膜厚で形成しやすい。このため前記第 2 反強磁性層 3 5 と強磁性層 3 6 間で生じる交換結合磁界を強いものにでき、前記強磁性層 3 6 を適切に図示 X 方向に磁化固定できる。

## 【 0 1 6 9 】

なお前記第 2 反強磁性層 3 5 の厚みを第 1 反強磁性層 2 3 と同程度に薄くすることにより前記第 2 フリー磁性層 3 8 を平坦化面に形成できなくなるが、素子両側端部 C におけるシールド間隔 T 6 を素子中央部 D におけるシールド間隔 T 7 より狭くすることも可能になり、より効果的に実効トラック幅と PW 5 0 の狭小化を図ることが可能になる。

## 【 0 1 7 0 】

さらに図 1 1 工程では、非磁性層 3 7 を非磁性層 2 7 と同じ膜厚で形成することが好ましい。上記したように非磁性層 2 7 を  $3 \text{ \AA}$  以上で  $20 \text{ \AA}$  以下で形成するので、前記非磁性層 3 7 もその膜厚範囲内で形成する。前記非磁性層 3 7 はその下に形成された強磁性層 3 6 を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有する。

## 【 0 1 7 1 】

なお図 1 1 に示す工程では、前記シードレイヤ 3 4 から非磁性層 3 7 までを成

膜した際、前記シードレイヤ34と同じ材質の磁性材料層34b、第2反強磁性層35と同じ材質の反強磁性材料層35b、強磁性層36と同じ材質の強磁性材料層36b、および非磁性層37と同じ材質の非磁性材料層37bが前記レジスト層60上に付着する。

#### 【0172】

次に図12工程では、図11に示すレジスト層60を有機溶剤で除去（リフトオフ）した後、前記非磁性層27及び非磁性層37をイオンミリングで除去する。

#### 【0173】

図12に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、成膜段階で非磁性層27、37が3Å～20Å程度の非常に薄い膜厚で形成されているからである。このため、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性層27、37を除去でき、従来に比べてミリング制御を向上させることができるのである。ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、100V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

#### 【0174】

なお図12工程では、前記非磁性層27、37の全てを除去せず、表面層27c、37cのみを除去しているが、前記非磁性層27、37を全て除去してもよい。なおすべて除去した場合でも非磁性層27、37を構成する元素が、第1フリー磁性層26や強磁性層36内に拡散している場合があり、元素拡散が生じているか否かは、SIMS分析装置や透過型電子顕微鏡（TEM）によるEDX分析などで調べることができる。

#### 【0175】

なお前記非磁性層27と非磁性層37とを成膜段階で同じ膜厚で形成した場合には、図12のイオンミリング工程後、非磁性層27の膜厚と非磁性層37の膜厚を同じ膜厚で残すことができる。

## 【0176】

次に図13工程では、前記非磁性層27上から前記非磁性層37上にかけて第2フリー磁性層38をスパッタ成膜し、さらに前記第2フリー磁性層38上にキャップ層39をスパッタ成膜する。

## 【0177】

図13工程では前記第2フリー磁性層38をNiFe合金などの磁性材料で形成することが好ましい。またキャップ層39はその下に形成された第2フリー磁性層38を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有するが、図13工程では前記キャップ層39をスペキュラー層あるいはバックド層、またはバックド層とスペキュラー層との積層構造で形成することもできる。

## 【0178】

前記スペキュラー層の材質としては、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の窒化物、半金属ホイッスラー合金などを提示できる。例えば前記第2フリー磁性層38上に15Å程度のTa膜を形成し、このTa膜を全部酸化させることでスペキュラー層を形成できる。

## 【0179】

前記スペキュラー層を設けることで、アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 $\lambda_+$ を従来に比べて伸ばすことが可能になり、よって前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 $\lambda_+$ と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 $\lambda_-$ との差を大きくすることができ、従って抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になる。

## 【0180】

前記バックド層は例えばCu、Au、Cr、Ruなどで形成される。前記バック

クド層が形成されることによって、磁気抵抗効果に寄与するアップスピンの伝導電子（上向きスピン：up spin）における平均自由行程（mean free path）を延ばし、いわゆるスピフィルター効果（spin filter effect）により磁気素子において、大きな抵抗変化率が得られ、高記録密度化に対応できるものとなる。

#### 【0181】

そして2回目の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示X方向）である。なおこの第2の磁場中アニールは、第2の印加磁界を、第1反強磁性層23の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第1反強磁性層23のブロッキング温度よりも低くする。

#### 【0182】

図13では、前記第1フリー磁性層26と強磁性層36上に非磁性層27、37を介して第2フリー磁性層38が形成されている。前記非磁性層27、37の膜厚は例えば6Å～11Åである。この程度の薄い膜厚であると、前記第1フリー磁性層26及び強磁性層36と第2フリー磁性層38間でRKKY相互作用による交換結合が発生し、前記第1フリー磁性層26及び強磁性層36と第2フリー磁性層38はトラック幅方向（図示X方向）であって反平行に磁化される。

#### 【0183】

一方、前記非磁性層27、37の膜厚を6Åよりも薄くしていくと、今度は、前記第1フリー磁性層26及び強磁性層36と第2フリー磁性層38の磁化とがトラック幅方向（図示X方向）に同じ方向で揃えられる。

#### 【0184】

上記した2回目の磁場中アニールを施すことで、前記第2反強磁性層35と強磁性層36間に図示X方向の交換結合磁界が生じ、前記強磁性層36は図示X方向に磁化固定される。そうすると、前記強磁性層36及び第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層38間にRKKY相互作用による交換結合が生じた場合、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cは、強磁性層36の磁化方向と反平行になり磁化固定される。一方、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dは、素子両側端部Cと同じ磁化方向を向くものの、外部磁界に対し磁化反転できる程度



に弱く単磁区化した状態であり、また第 1 フリー磁性層 2 6 は、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D との間で発生する R K K Y 相互作用による交換結合によって第 2 フリー磁性層 3 8 とは反対方向、すなわち強磁性層 3 6 と同一の磁化方向に揃えられ、前記第 1 フリー磁性層 2 6 の磁化は、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の磁化と同様に外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化される。

#### 【 0 1 8 5 】

また例えば一方の非磁性層 2 7 が 6 Å よりも薄い膜厚で、他方の非磁性層 3 7 が 6 Å 以上で 1 1 Å 以下の膜厚で形成される場合もあるが、かかる場合でも第 1 フリー磁性層 2 6、第 2 フリー磁性層 3 8 および強磁性層 3 6 の磁化制御を適切に行うことができる。具体的には例えば非磁性層 3 7 が 6 Å 以上で 1 1 Å 以下の膜厚で形成されたとすると、上記した 2 回目の磁場中アニールを施すことで、前記第 2 反強磁性層 3 5 と強磁性層 3 6 間に図示 X 方向の交換結合磁界が生じ、前記強磁性層 3 6 は図示 X 方向に磁化固定される。そうすると、前記強磁性層 3 6 と第 2 フリー磁性層 3 8 間に R K K Y 相互作用による交換結合が生じ、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、強磁性層 3 6 の磁化方向と反平行になり磁化固定される。一方、非磁性層 2 7 の膜厚が 6 Å よりも薄い膜厚であるとする、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D は、素子両側端部 C と同じ磁化方向を向き、且つ外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化した状態となり、さらに第 1 フリー磁性層 2 6 も前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の磁化方向と同一の磁化方向に揃えられ、前記第 1 フリー磁性層 2 6 の磁化は、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の磁化と同様に外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化される。

#### 【 0 1 8 6 】

次に図 1 4 工程では前記キャップ層 3 9 上にリフトオフ用のレジスト層 6 1 を形成する。前記レジスト層 6 1 の下面 6 1 b のトラック幅方向（図示 X 方向）への幅寸法は、素子中央部 D のトラック幅方向（図示 X 方向）と同じ幅寸法か、あるいはそれよりも若干小さく形成する。そして、前記レジスト層 6 1 に覆われていない前記キャップ層 3 9 のトラック幅方向の素子両側端部 C 上に電極層 4 0 を

スパッタ成膜する。なお前記レジスト層 6 1 の下方に形成された切欠部 6 1 a 内にも前記電極層 4 0 が形成されるように、前記電極層 4 0 を成膜するとき、図示 Z 方向に対し斜めに傾いた方向からスパッタして前記電極層 4 0 を形成する。また前記レジスト層 6 1 に覆われていないキャップ層 3 9 の素子両側端部 C をイオンミリングで除去してから前記電極層 4 0 を成膜してもよい。前記キャップ層 3 9 が絶縁性であるとき、前記電極層 4 0 から多層膜 3 0 へセンス電流が流れ難くなり再生出力の低下を招くからである。

## 【 0 1 8 7 】

なお前記電極層 4 0 を成膜する際、前記レジスト層 6 1 上にも電極層 4 0 と同じ材質の電極材料層 4 0 e が付着する。そして前記レジスト層 6 1 を除去する。

## 【 0 1 8 8 】

前記電極層 4 0 間のトラック幅方向（図示 X 方向）への間隔は素子中央部 D のトラック幅方向への幅寸法と同じかあるいはそれよりも小さくなる。

## 【 0 1 8 9 】

前記レジスト層 6 1 を除去した後、前記電極層 4 0 上から前記電極層 4 0 間に露出するキャップ層 3 9 上にかけて上部ギャップ層 4 1 及び上部シールド層 4 2 を形成する。これにより図 1 に示す磁気検出素子が完成する。

## 【 0 1 9 0 】

図 2 に示す磁気検出素子を製造するには図 9 ないし図 1 4 に示す工程を利用することができる。

## 【 0 1 9 1 】

すなわちまず図 9 工程を施し（なおこのとき下部ギャップ層 2 1 を形成しない）、図 1 0 工程を施した後、図 1 1 工程で、前記多層膜 3 0 よりもトラック幅方向に延出形成された下部シールド層 2 0 上から前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a 上にかけて絶縁層 4 5 を成膜する。この絶縁層 4 5 の成膜の際、前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a 上にも前記絶縁層 4 5 が一定の膜厚で形成されるように、イオンビームスパッタなどのスパッタ角度を図示 Z 方向から斜めに傾けてスパッタ成膜を行う。

## 【 0 1 9 2 】

その後、シードレイヤ 34、第 2 反強磁性層 35、強磁性層 36 及び非磁性層 37 を成膜した後、図 12 工程、図 13 工程を施し、図 14 工程で、レジスト層 61 のトラック幅方向の両側に絶縁層 46 をスパッタ成膜し、レジスト層 61 を除去した後、前記絶縁層 46 上から前記絶縁層 46 間の間隔内に露出するキャップ層 39 上にかけて上部シールド層 42 を形成する。これによって図 2 に示す磁気検出素子が完成する。

## 【0193】

また図 3 に示す磁気検出素子の製造方法には図 9 ないし図 13 に示す工程を利用することができる。

## 【0194】

すなわち図 9 ないし図 13 工程と同じ工程を施し（ただし図 3 に示す磁気検出素子では図 12 工程で非磁性層 27 及び非磁性層 37 をすべて除去している、また図 13 工程ではキャップ層 39 を形成する代わりに第 2 フリー磁性層 38 上に非磁性層 48 を形成している。また図 13 工程後の 2 回目の磁場中アニールはまだこの時点では実効しない）、その後、図 15 工程を施す。

## 【0195】

図 15 工程では、前記非磁性層 48 上にリフトオフ用のレジスト層 62 を形成する。前記レジスト層 62 の下面のトラック幅方向（図示 X 方向）への幅寸法は素子中央部 D のトラック幅方向への幅寸法と同じであることが好ましい。次に前記レジスト層 62 に覆われていない素子両側端部 C 上の非磁性層 48 をイオンミリングで除去する。前記非磁性層 48 は Ru など形成され、さらに 3 Å 以上の 20 Å 以下の膜厚で形成される。よって低エネルギーのイオンミリングで前記非磁性層 48 を除去できる。図 15 工程では前記素子両側端部 C 上の非磁性層 48 をすべて除去しているが、一部残してもよい。

## 【0196】

例えば図 3 のように前記強磁性層 36 上に形成されていた非磁性層 37 が全て除去され、上記した 2 回目の磁場中アニールを施すことで強磁性層 36 から第 2 フリー磁性層 38 の素子両側端部 C に強磁性層 36 の磁化と同一方向のバイアス磁界が供給される場合には、前記第 2 フリー磁性層 38 の素子両側端部 C 上に形

成される強磁性層 4 7 からも、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C に対し、前記強磁性層 4 7 の磁化と同一方向のバイアス磁界が供給されるように、前記非磁性層 4 8 の膜厚を調整（かかる場合、前記非磁性層 4 8 を 6 Å よりも薄い膜厚とする）することができる。

## 【 0 1 9 7 】

あるいは前記強磁性層 3 6 上の非磁性層 3 7 が一部残され、上記した 2 回目の磁場中アニールを施すことで強磁性層 3 6 から第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C に強磁性層 3 6 の磁化と反対方向のバイアス磁界が供給される場合には、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に形成される強磁性層 4 7 からも、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C に対し、前記強磁性層 4 7 の磁化と反対方向のバイアス磁界が供給されるように、前記非磁性層 4 8 の膜厚を調整（かかる場合、前記非磁性層 4 8 を 6 Å 以上で 1 1 Å 以下とする）することもできる。

## 【 0 1 9 8 】

上記のように一度の磁場中アニールで、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の磁化方向を適切に制御することが可能になる。

## 【 0 1 9 9 】

図 1 5 工程では、前記レジスト層 6 2 に覆われていない非磁性層 4 8 の素子両側端部 C をすべて除去し、露出した前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に強磁性層 4 7、第 3 反強磁性層 4 9、電極層 4 0 を連続成膜する。前記第 3 反強磁性層 4 9 には、第 1 反強磁性層 2 3 及び第 2 反強磁性層 3 5 として使用できる材質を使用できる。

## 【 0 2 0 0 】

そして前記レジスト層 6 2 を除去した後、2 回目の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示 X 方向）である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 1 反強磁性層 2 3 の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第 1 反強磁性層 2 3 のブロッキング温度よりも低くする。

## 【 0 2 0 1 】

図15では、前記2回目の磁場中アニールで、第2反強磁性層35と強磁性層36との間、および第3反強磁性層49と強磁性層47との間に図示X方向の交換結合磁界が発生すると、前記強磁性層36、47はともに図示X方向に磁化固定され、さらに第2フリー磁性層38の素子両側端部Cも前記強磁性層36、47間での交換相互作用で、図示X方向に磁化固定される。一方、前記第2フリー磁性層38の素子中央部D及び第1フリー磁性層26の磁化は図示X方向に揃えられるものの外部磁界に対し磁化変動できる程度に弱く単磁区化される。

## 【0202】

そして前記電極層40上から前記電極層40間の間隔内に露出する非磁性層48上にかけて上部ギャップ層41を形成し、さらに前記上部ギャップ層41上に上部シールド層42を形成する。これによって図3に示す磁気検出素子が完成する。

## 【0203】

また図4に示す磁気検出素子の製造方法には図9ないし図12に示す工程を利用することができる。

## 【0204】

すなわち図9ないし図12工程と同じ工程を施し（ただし図4に示す磁気検出素子では図12工程で非磁性層27及び非磁性層37をすべて除去している）、その後、図16工程を施す。

## 【0205】

図16工程では、前記強磁性層36上から第1フリー磁性層26上にかけて第2フリー磁性層38、第4反強磁性層50及び非磁性層48を連続してスパッタ成膜する。前記第4反強磁性層50には、第1反強磁性層23、第2反強磁性層35及び第3反強磁性層49に使用される反強磁性材料を使用できる。また前記第4反強磁性層50を20Å以上で50Å以下の膜厚で形成する。また非磁性層48を、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成することが好ましく、また前記非磁性層48を、3Å以上で20Å以下の薄い膜厚で形成することが好ましい。前記第4反強磁性層50上に非磁性層48を形成することで、図16に示す製造工程中の磁気検出

素子が大気暴露されても第4反強磁性層50が酸化されるのを適切に防止できる。

#### 【0206】

次に図17に示す工程では、前記非磁性層48上にリフトオフ用のレジスト層63を形成する。前記レジスト層63の下面のトラック幅方向（図示X方向）への幅寸法は素子中央部Dのトラック幅方向への幅寸法と同じであることが好ましい。次に前記レジスト層63に覆われていない素子両側端部C上の非磁性層48をイオンミリングで除去する。前記非磁性層48はRuなどで形成され、さらに3Å以上の20Å以下の膜厚で形成される。よって低エネルギーのイオンミリングで前記非磁性層48を除去できる。図17工程では前記素子両側端部C上の非磁性層48をすべて除去しているが、一部残してもよい。ただし非磁性層48を3Å以下の非常に薄い膜厚で残す。

#### 【0207】

そして図17に示すように前記レジスト層63のトラック幅方向の両側に露出した前記第4反強磁性層50上に第3反強磁性層49および電極層40を連続してスパッタ成膜する。そして前記レジスト層63を除去した後、上記した2回目の磁場中アニールを施す。

#### 【0208】

上記のように第4反強磁性層50を50Å以下の薄い膜厚で形成することにより、第4反強磁性層50の素子中央部Dは反強磁性の性質を有さなくなり、2回目の磁場中アニールを施しても、第4反強磁性層50の素子中央部Dは規則化変態しにくく第4反強磁性層50と第2フリー磁性層38の素子中央部D間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、第2フリー磁性層38の素子中央部Dの磁化が、固定磁性層24と同じように強固に固定されることがない。

#### 【0209】

また第4反強磁性層50が20Å以上で形成されとしたのは、この程度の膜厚がないと、前記第4反強磁性層50の素子両側端部C上に第3反強磁性層49を形成しても、第4反強磁性層50の素子両側端部Cが反強磁性の性質を帯び難

く、前記第 4 反強磁性層 5 0 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

【 0 2 1 0 】

また前記第 4 反強磁性層 5 0 を設ける意義は、前記第 4 反強磁性層 5 0 を形成せず、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に第 3 反強磁性層 4 9 を形成しても前記第 3 反強磁性層 4 9 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が生じないからである。

【 0 2 1 1 】

上記した 2 回目の磁場中アニールを施した後、前記電極層 4 0 上から前記電極層 4 0 間の間隔内に露出する非磁性層 4 8 上にかけて上部ギャップ層 4 1 を形成し、さらに前記上部ギャップ層 4 1 上に上部シールド層 4 2 を形成する。これによって図 4 に示す磁気検出素子が完成する。

【 0 2 1 2 】

また図 5 に示す磁気検出素子の製造方法には図 9 ないし図 1 2 に示す工程を利用することができる。

【 0 2 1 3 】

すなわち図 9 ないし図 1 2 工程と同じ工程を施し（ただし図 5 に示す磁気検出素子では図 1 2 工程で非磁性層 2 7 及び非磁性層 3 7 をすべて除去している）、その後、図 1 8 工程を施す。

【 0 2 1 4 】

図 1 8 工程では、前記強磁性層 3 6 上から第 1 フリー磁性層 2 6 上にかけて第 2 フリー磁性層 3 8、第 3 反強磁性層 4 9、Ta、Cr など形成された非磁性中間層 5 1 を連続してスパッタ成膜する。

【 0 2 1 5 】

さらに前記非磁性中間層 5 1 上であって、トラック幅方向（図示 X 方向）に間隔 A が形成された電極層 4 0 を形成する。前記電極層 4 0 はマスク層としての役割を有している。

【 0 2 1 6 】

前記電極層 4 0 間の間隔 A の幅は、前記素子中央部 D のトラック幅方向（図示

X方向)における幅寸法と同程度かあるいは若干広めに形成する。

【0217】

前記電極層40に間隔Aを形成する方法は、例えば前記間隔Aが形成される非磁性中間層51上にレジスト層(図示しない)を立て、このレジスト層に覆われていない前記非磁性中間層51のトラック幅方向における両側端部上に電極層40を形成し、その後、前記レジスト層を除去する。

【0218】

あるいは前記電極層40を前記非磁性中間層51上の全面に形成した後、前記電極層40のトラック幅方向における両側端部にレジスト層(図示しない)を立て、前記レジスト層に覆われていない前記電極層40の素子中央部Dを反応性イオンエッチング(RIE)などのエッチングで除去する。そして前記レジスト層を除去する。なおこのレジスト層は残しておいてもよい。なお前記レジスト層の代わりにメタルマスク層を用いてもよい。

【0219】

次に図19に示す工程では、前記電極層40の間隔A内から露出する非磁性中間層51及び第3反強磁性層49をイオンミリングなどで掘り込む。図19では、前記イオンミリングで前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの上面が若干削り込まれるが、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの上面が前記ミリングの影響をほとんど受けず、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの膜厚が前記素子両側端部Cの膜厚と均一な厚さで残されてもよい(かかる場合、第2フリー磁性層38の素子中央部Dの表面は38a)。

【0220】

また図19に示すように、前記第3反強磁性層49の素子中央部Dが薄い膜厚で前記間隔A内に残されてもよい(このときの第3反強磁性層49の素子中央部Dの表面は49a)。ただし前記第3反強磁性層49の素子中央部Dの膜厚は50Å以下であることが好ましい。この程度にまで前記第3反強磁性層49の膜厚が薄いと、前記第3反強磁性層49の素子中央部Dと第2フリー磁性層38間で上記した2回目の磁場中アニールを施しても交換結合磁界が生じず、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dが図示X方向に強固に固定されるといった不具合



が生じない。

【 0 2 2 1 】

図 6 に示す磁気検出素子は図 3 と同じ製造方法を、図 7 に示す磁気検出素子は図 4 と同じ製造方法を、図 8 に示す磁気検出素子は図 5 と同じ製造方法を利用できる。図 6 ないし図 8 に示す磁気検出素子は全て C P P 型の磁気検出素子であるから、電極層を形成する部分に絶縁層を形成し、また前記電極層を多層膜の膜厚方向の上下に形成する。

【 0 2 2 2 】

なお本発明における磁気検出素子は、ハードディスク装置に搭載される薄膜磁気ヘッドにのみ使用可能なものではなく、テープ用磁気ヘッドや磁気センサなどにも使用可能なものである。

【 0 2 2 3 】

以上本発明をその好ましい実施例に関して述べたが、本発明の範囲から逸脱しない範囲で様々な変更を加えることができる。

【 0 2 2 4 】

なお、上述した実施例はあくまでも例示であり、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

【 0 2 2 5 】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明では、下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を有し、前記多層膜のトラック幅方向の両側端面にはトラック幅方向に第 2 反強磁性層が設けられ、前記第 2 反強磁性層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層が設けられていることを特徴とするものである。

【 0 2 2 6 】

本発明では、前記第 2 フリー磁性層の前記第 2 反強磁性層と膜厚方向で対向する部分では、前記第 2 反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって磁化がトラック幅方向に固定される。一方、前記第 2 フリー磁性層の素子中央部 D では、前記交換結合磁界が働かないからトラック幅方向に弱く単磁区化された状態で

あり、第1フリー磁性層とともに、外部磁界に対し感度良く磁化反転する。

【0227】

本発明ではこのように第2反強磁性層を多層膜のトラック幅方向の両側に設けることで、従来のように、フリー磁性層の両側端部上に第2反強磁性層を設けていた場合に比べて前記素子中央部Dに対する前記素子両側端部Cでのシールド間隔の広がり抑制でき、よって従来に比べて実効再生トラック幅やPW50の広がりを効果的に抑制でき、また前記素子両側端部Cでのシールド機能を向上させてサイドリーディング等のノイズ発生を抑制できる。また前記素子両側端部C上に形成される電極層の素子中央部Dの上面に対する盛り上がりを従来よりも小さくできるから前記電極層上から前記多層膜の素子中央部D上に形成されるギャップ層の膜厚を均一な膜厚で形成しやすく、シールド層と電極層間の絶縁性も向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図2】

本発明の第2実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図3】

本発明の第3実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図4】

本発明の第4実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図5】

本発明の第5実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図6】

本発明の第 6 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 7】

本発明の第 7 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 8】

本発明の第 8 実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 9】

図 1 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 0】

図 9 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 1】

図 1 0 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 2】

図 1 1 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 3】

図 1 2 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 4】

図 1 3 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 5】

図 3 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 6】

図 4 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 7】

図 1 6 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 8】

図 5 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 9】

図 1 8 の次に行なわれる一工程図、

【図 2 0】

従来の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 2 1】

従来の別の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

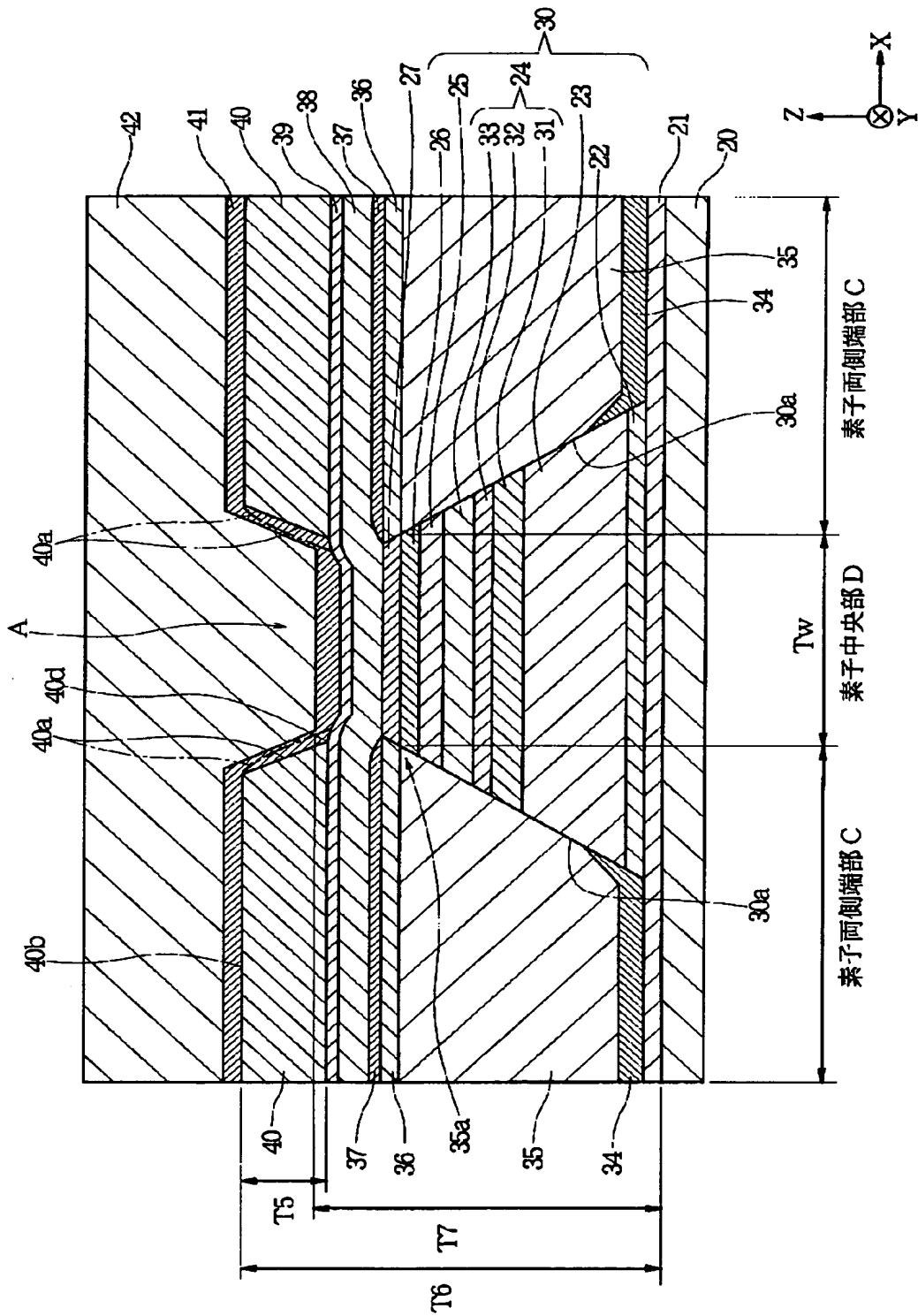
【符号の説明】

- 2 0 下部シールド層
- 2 1 下部ギャップ層
- 2 2、3 4 シードレイヤ
- 2 3 第 1 反強磁性層
- 2 4 固定磁性層
- 2 5 非磁性材料層
- 2 6 第 1 フリー磁性層
- 2 7、3 7、4 8 非磁性層
- 3 0 多層膜
- 3 5 第 2 反強磁性層
- 3 6、4 7 強磁性層
- 3 8 第 2 フリー磁性層
- 3 9 キャップ層
- 4 0 電極層
- 4 1 上部ギャップ層
- 4 2 上部シールド層
- 4 5、4 6、5 2、5 3、7 0 絶縁層
- 4 9 第 3 反強磁性層
- 5 0 第 4 反強磁性層
- 6 0、6 1、6 2、6 3 レジスト層

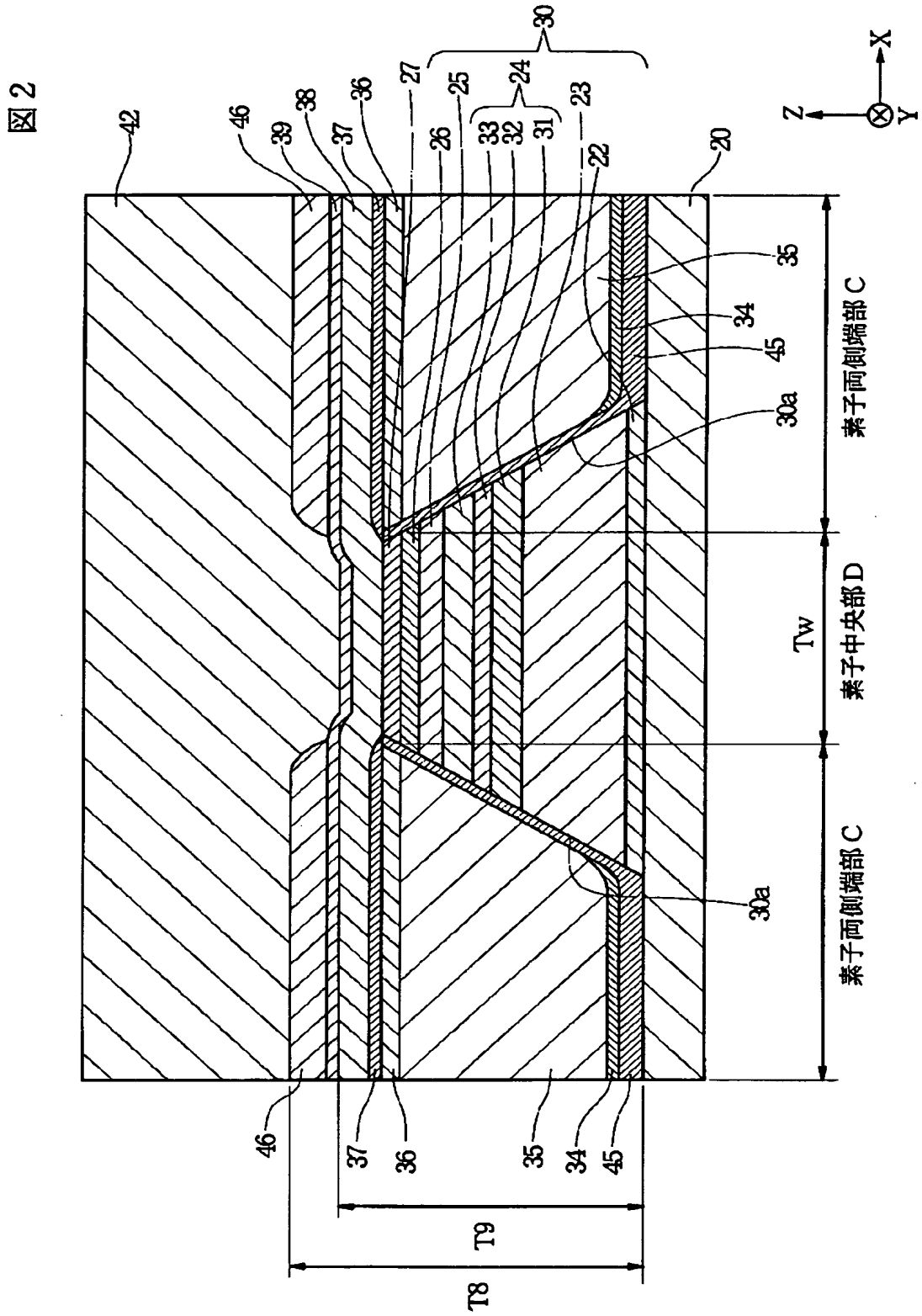
【書類名】 図面

【図 1】

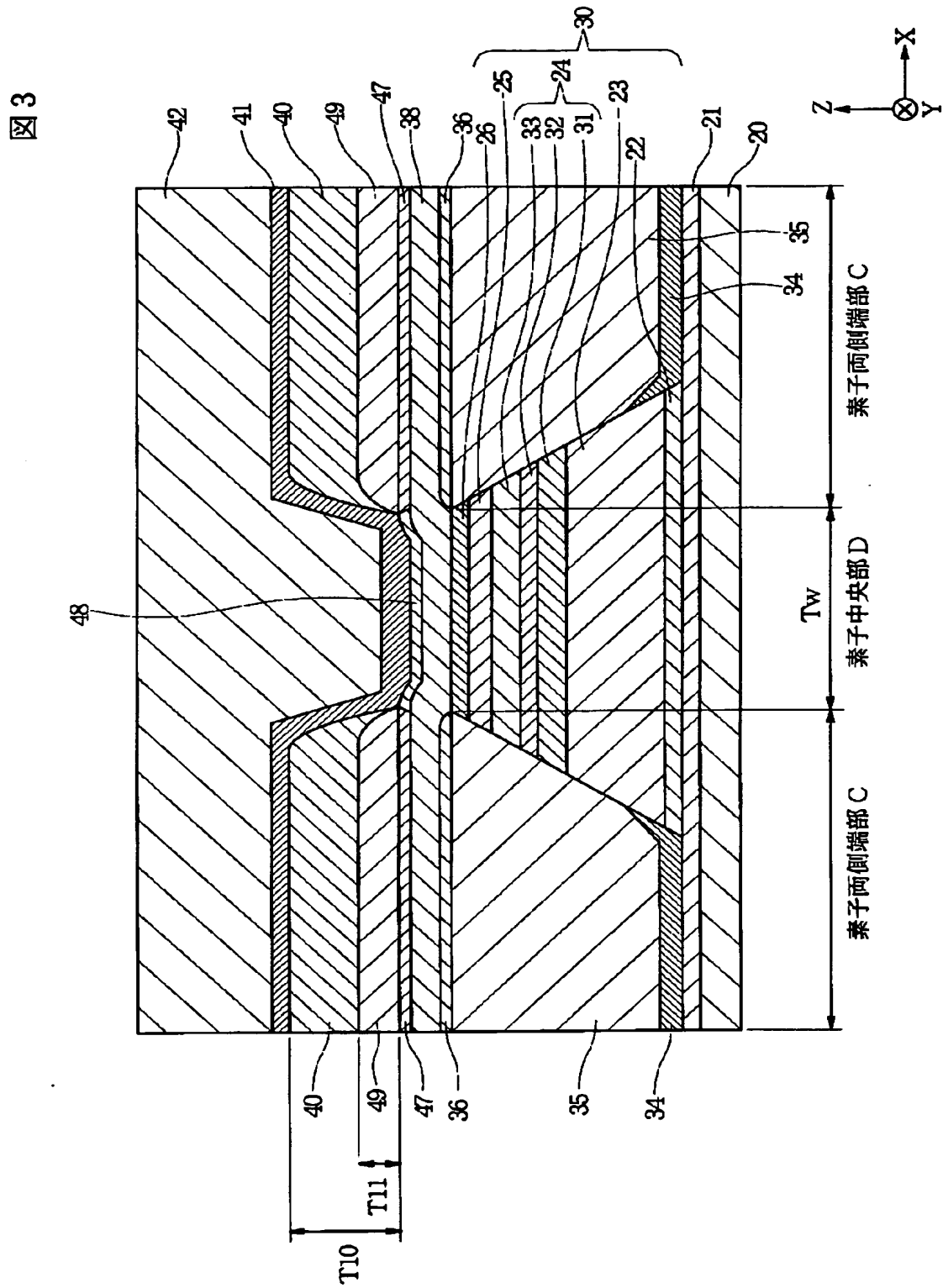
図 1



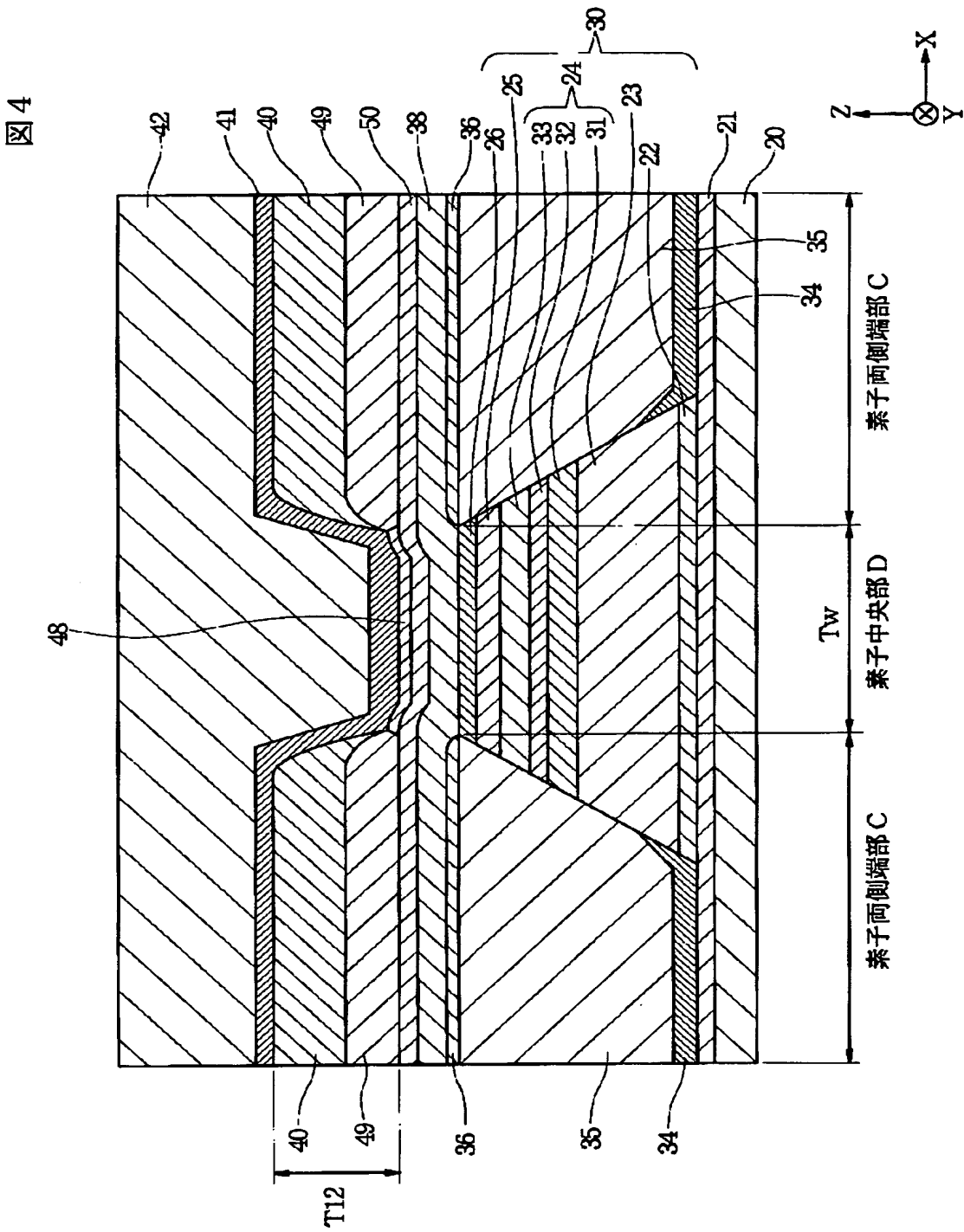
【図 2】



【図 3】

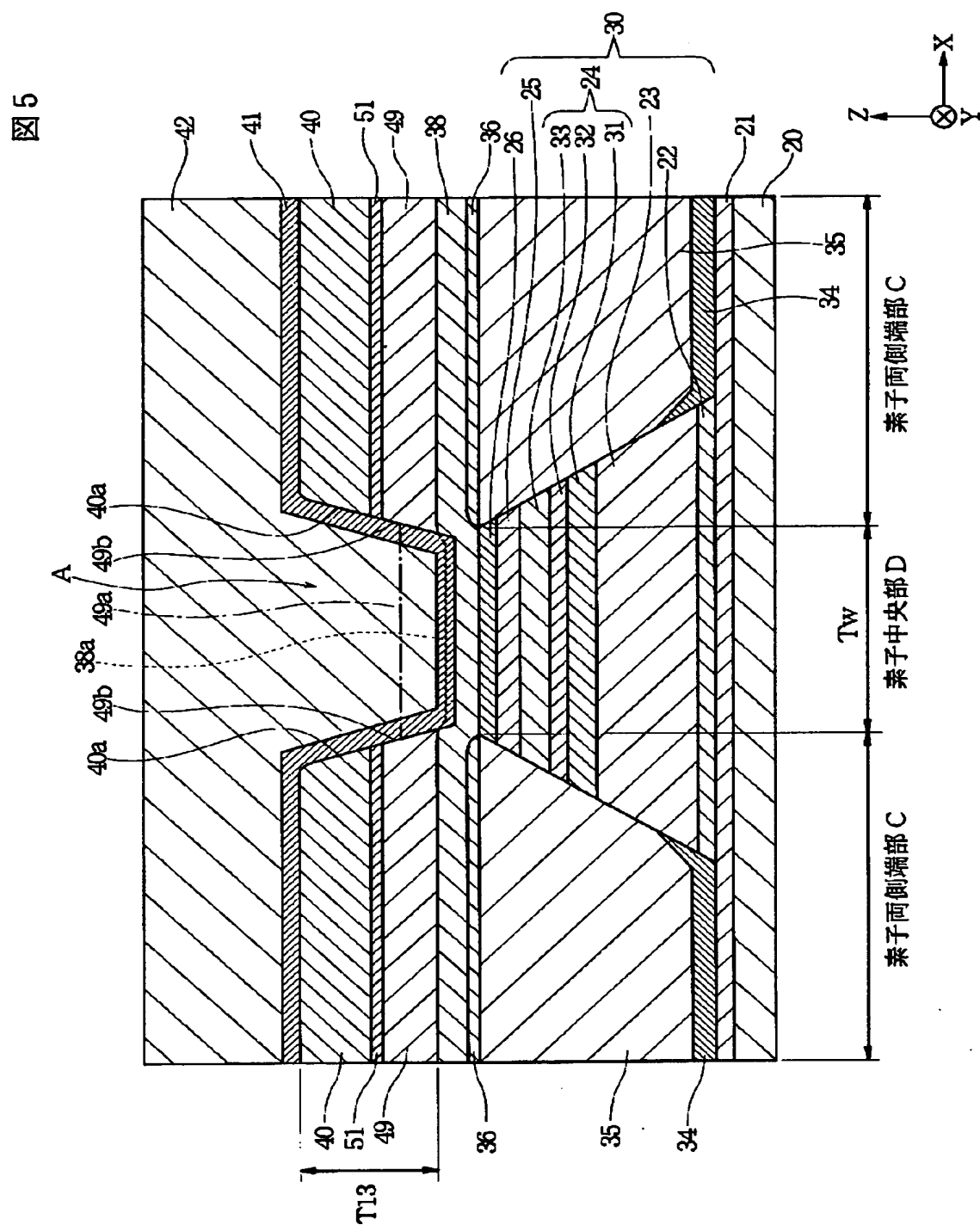


【図 4】

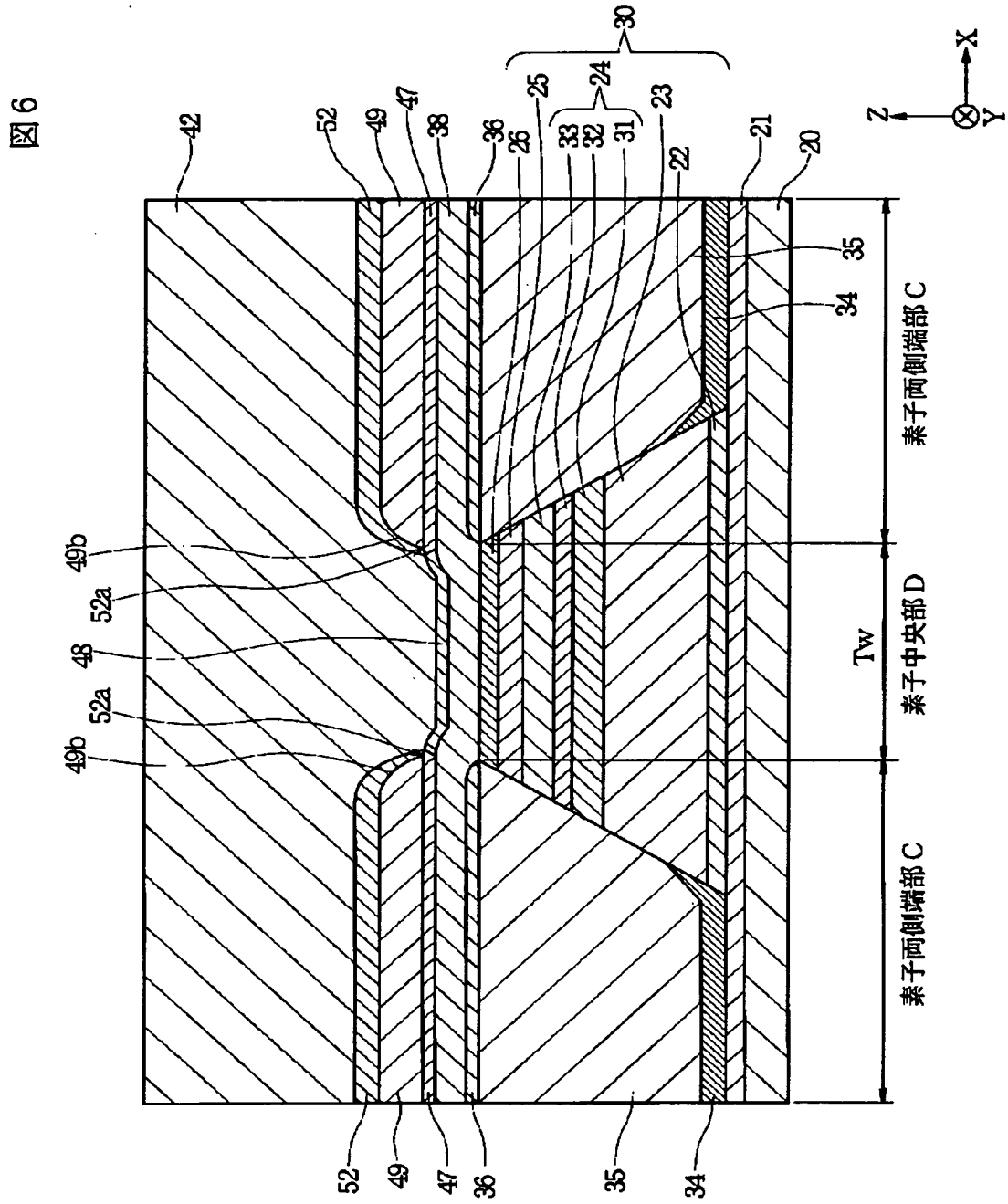




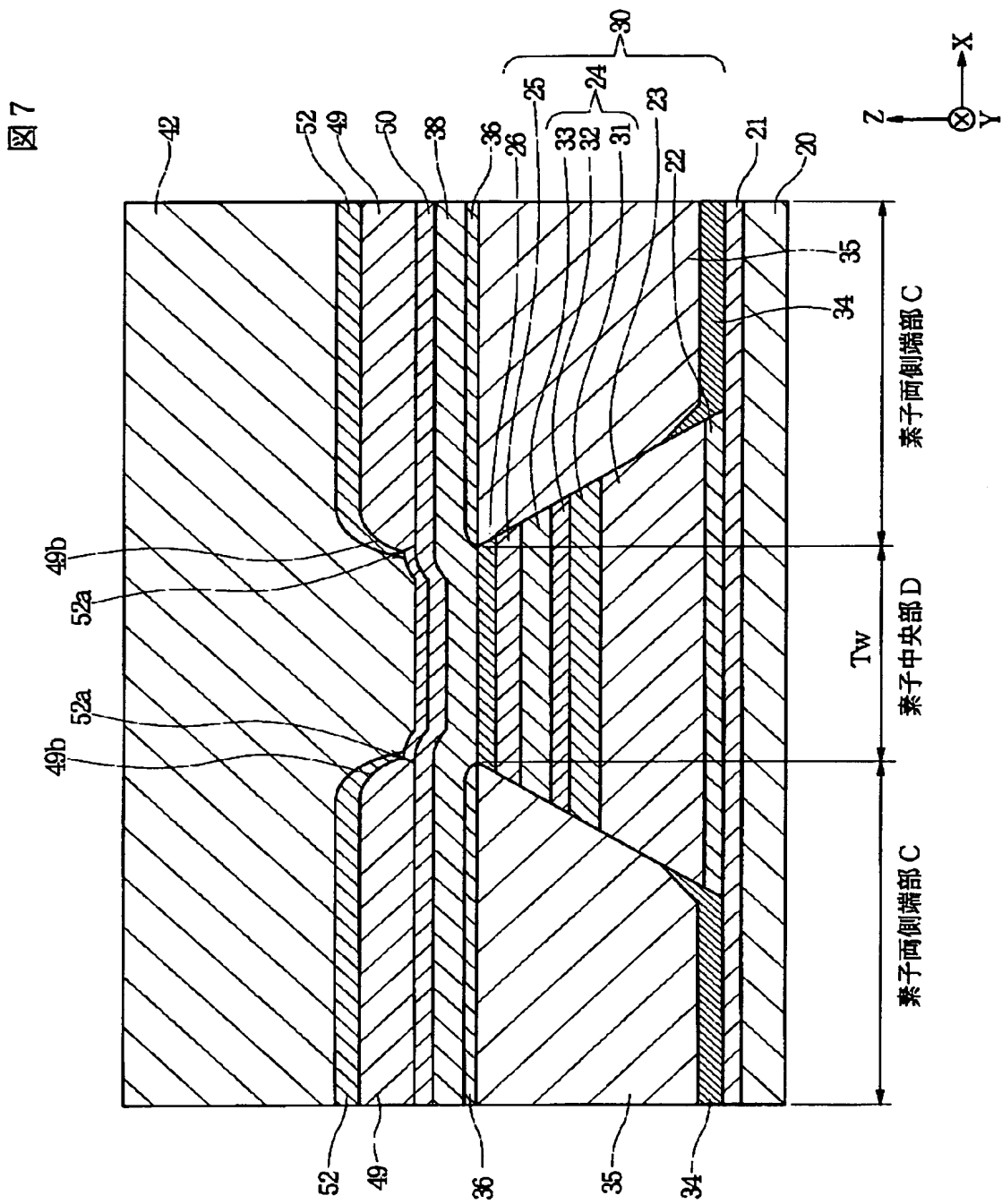
【図 5】



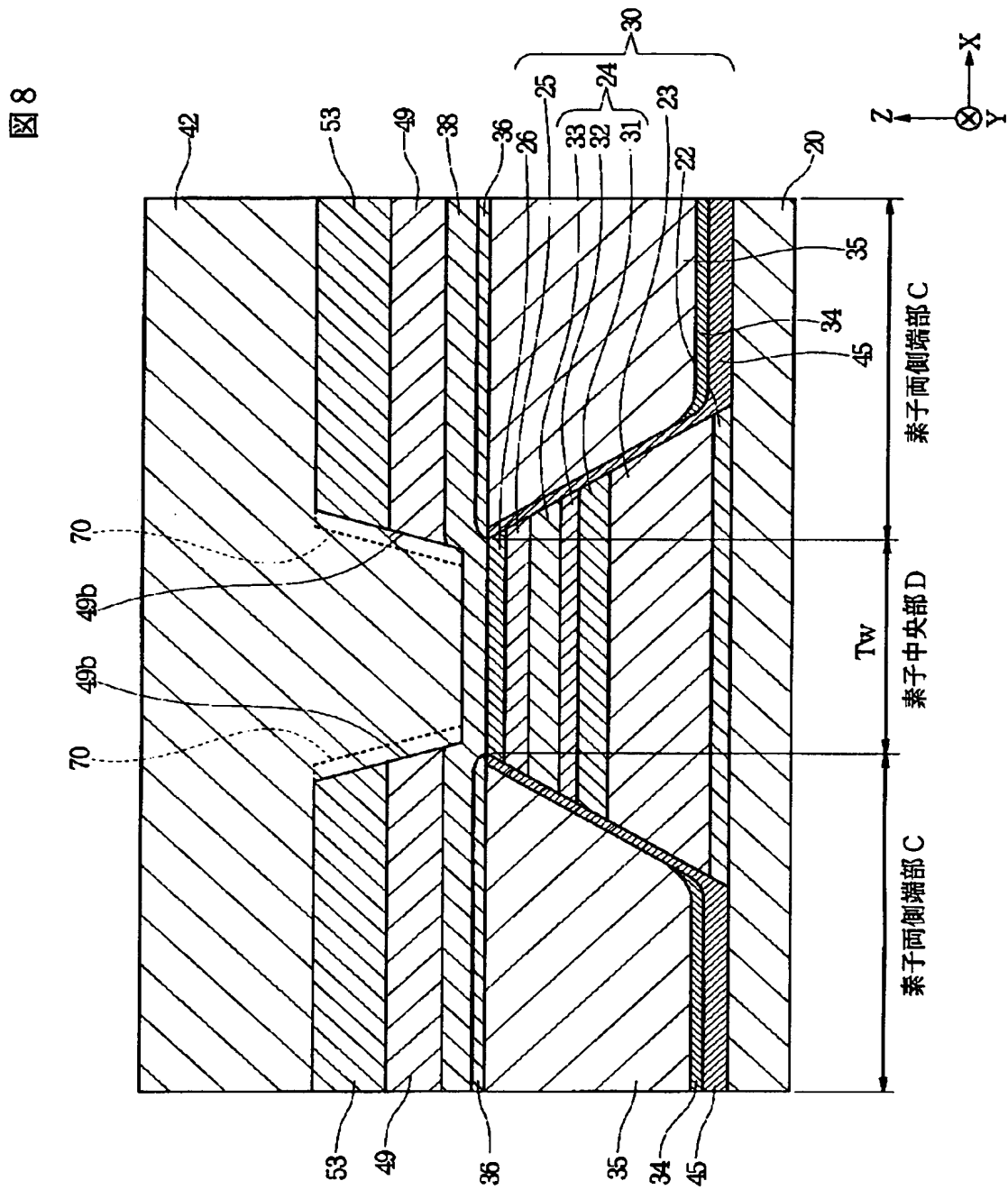
【図 6】



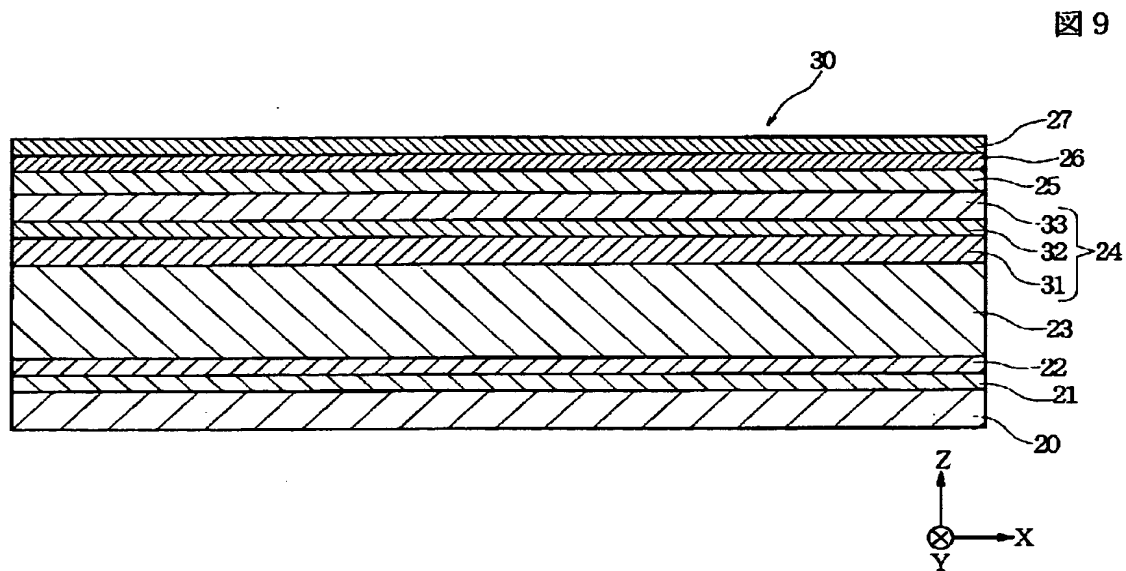
【図 7】



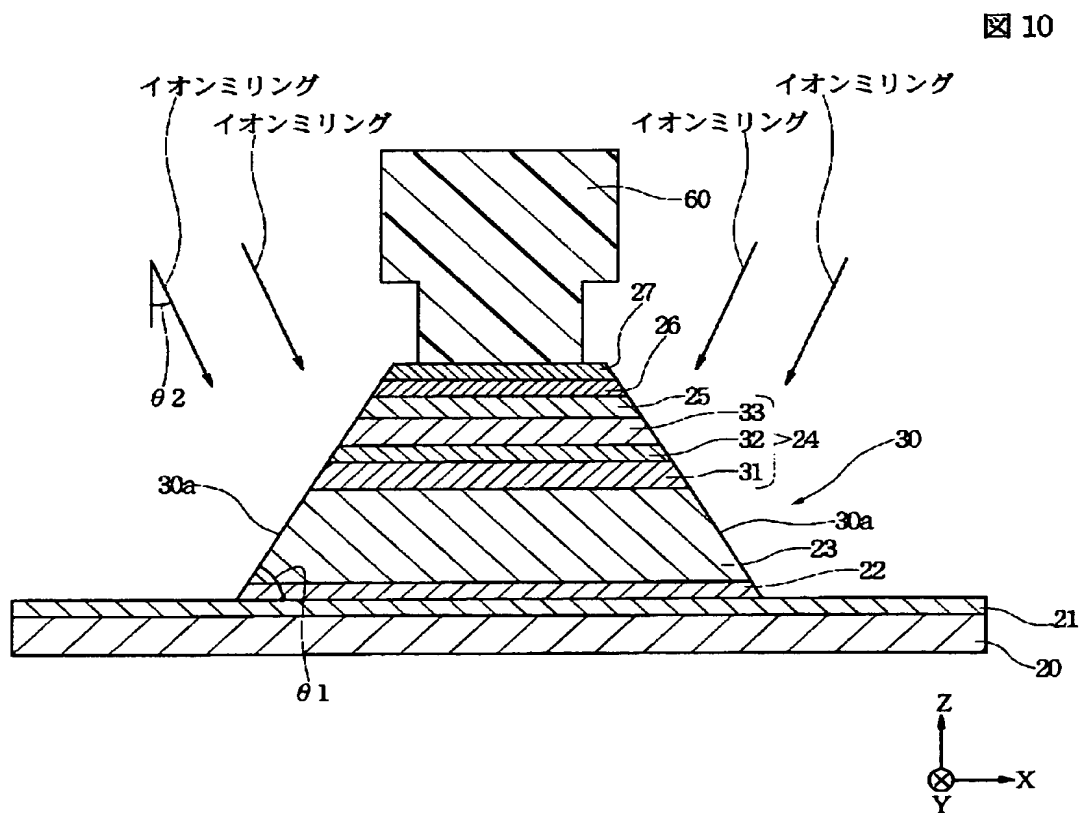
【図 8】



【図 9】

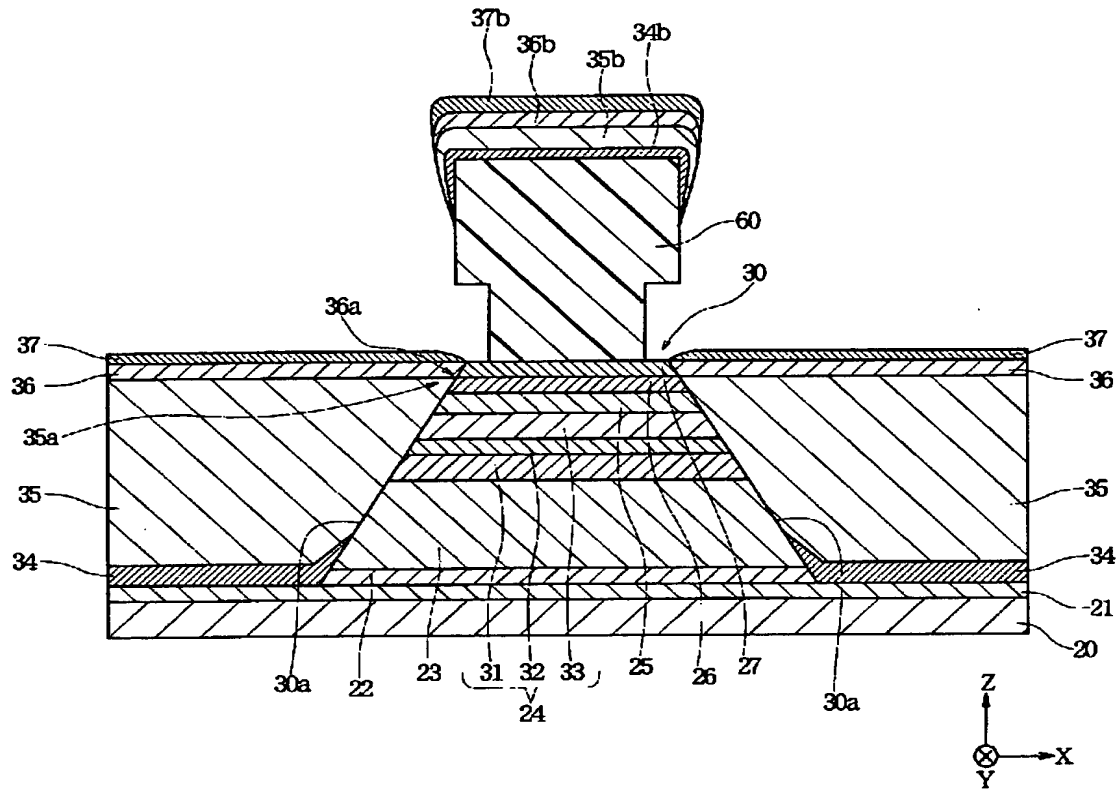


【図 1 0】



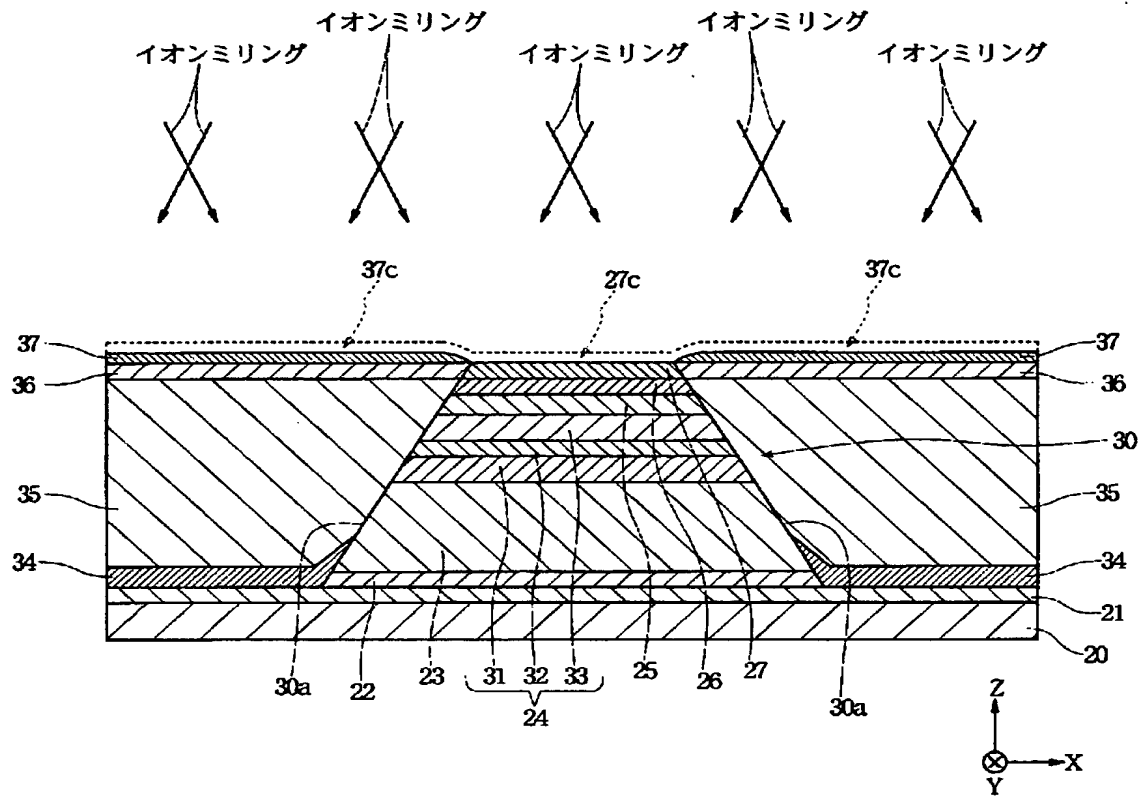
【図 11】

図 11

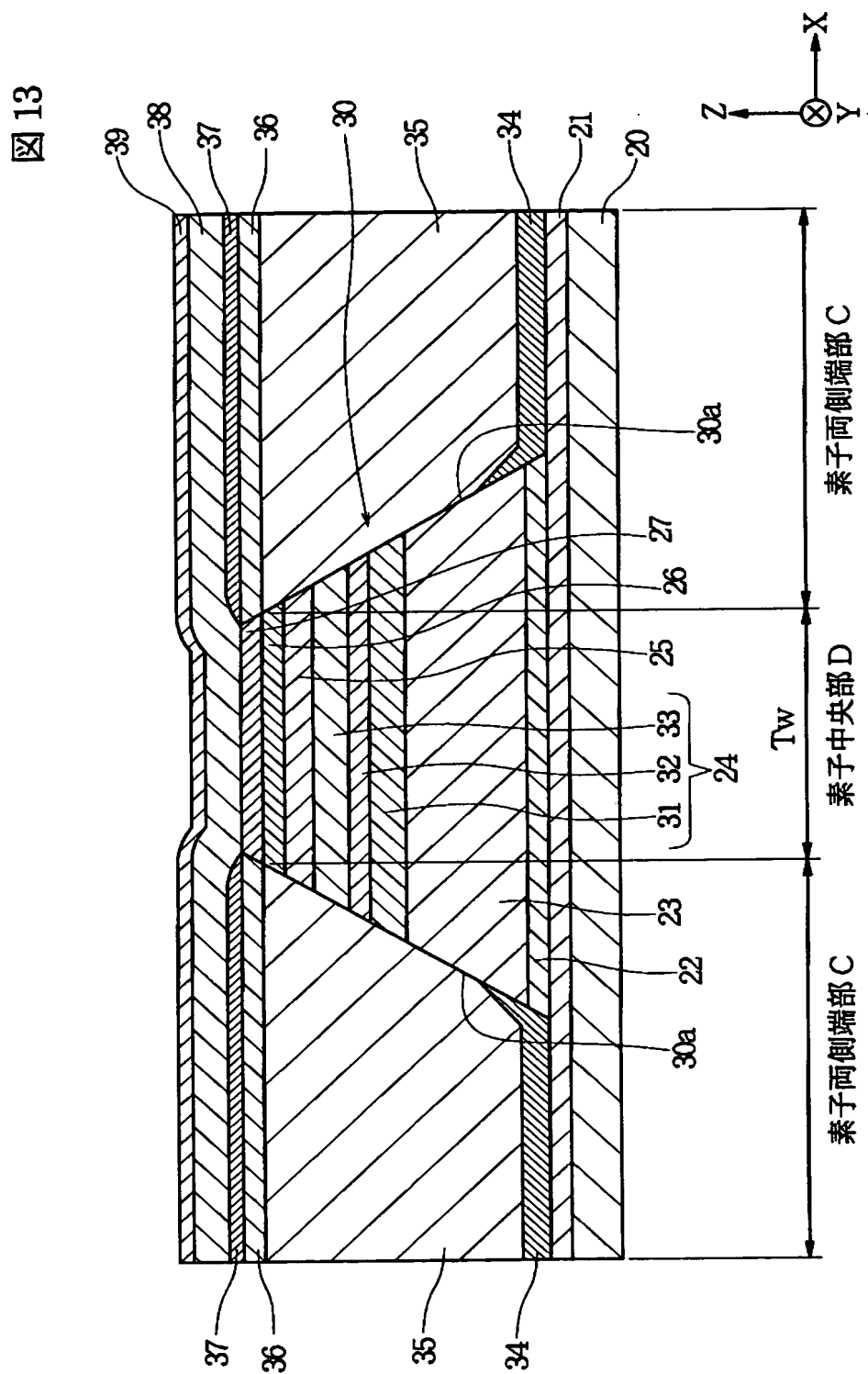


【図 12】

図 12



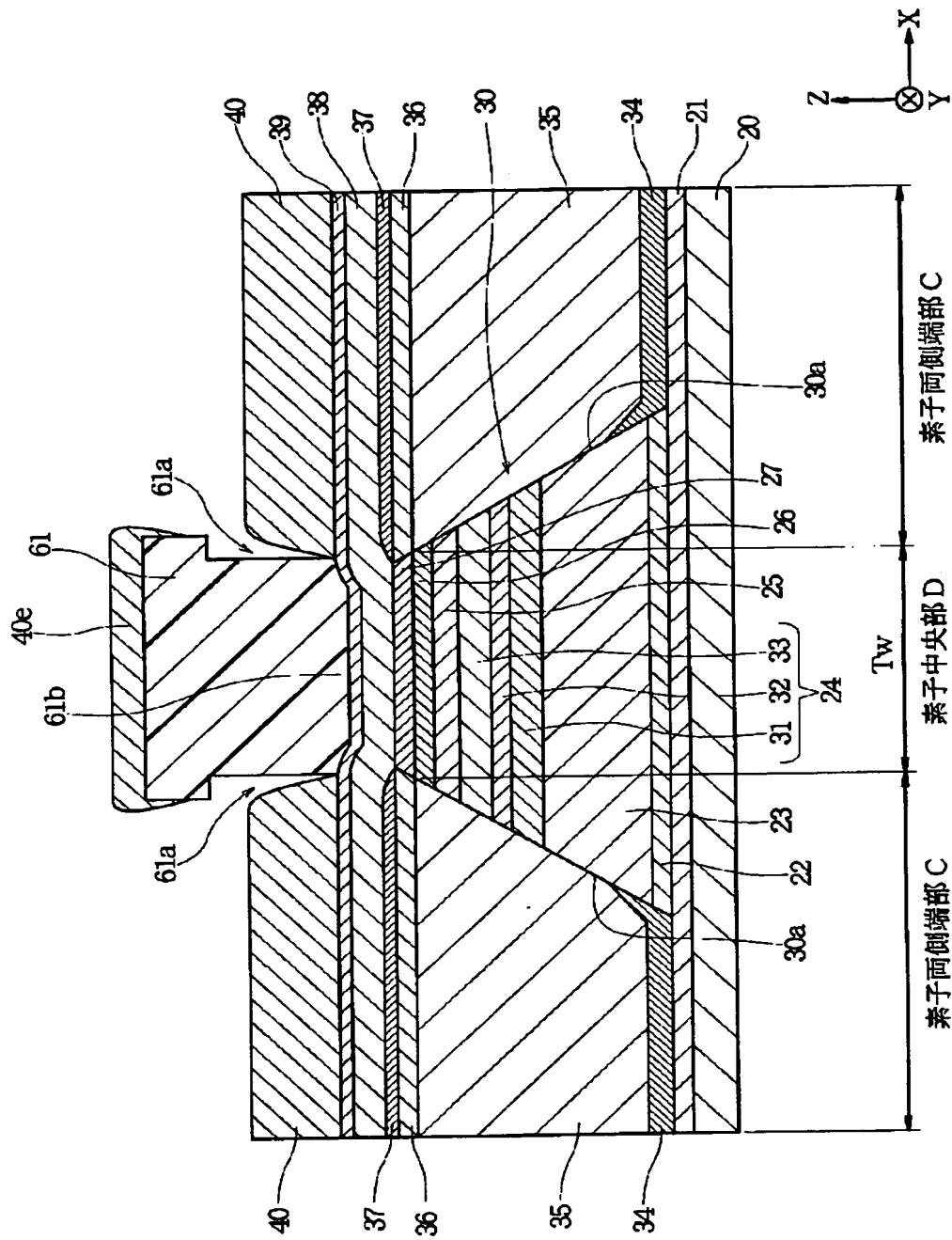
【図 13】





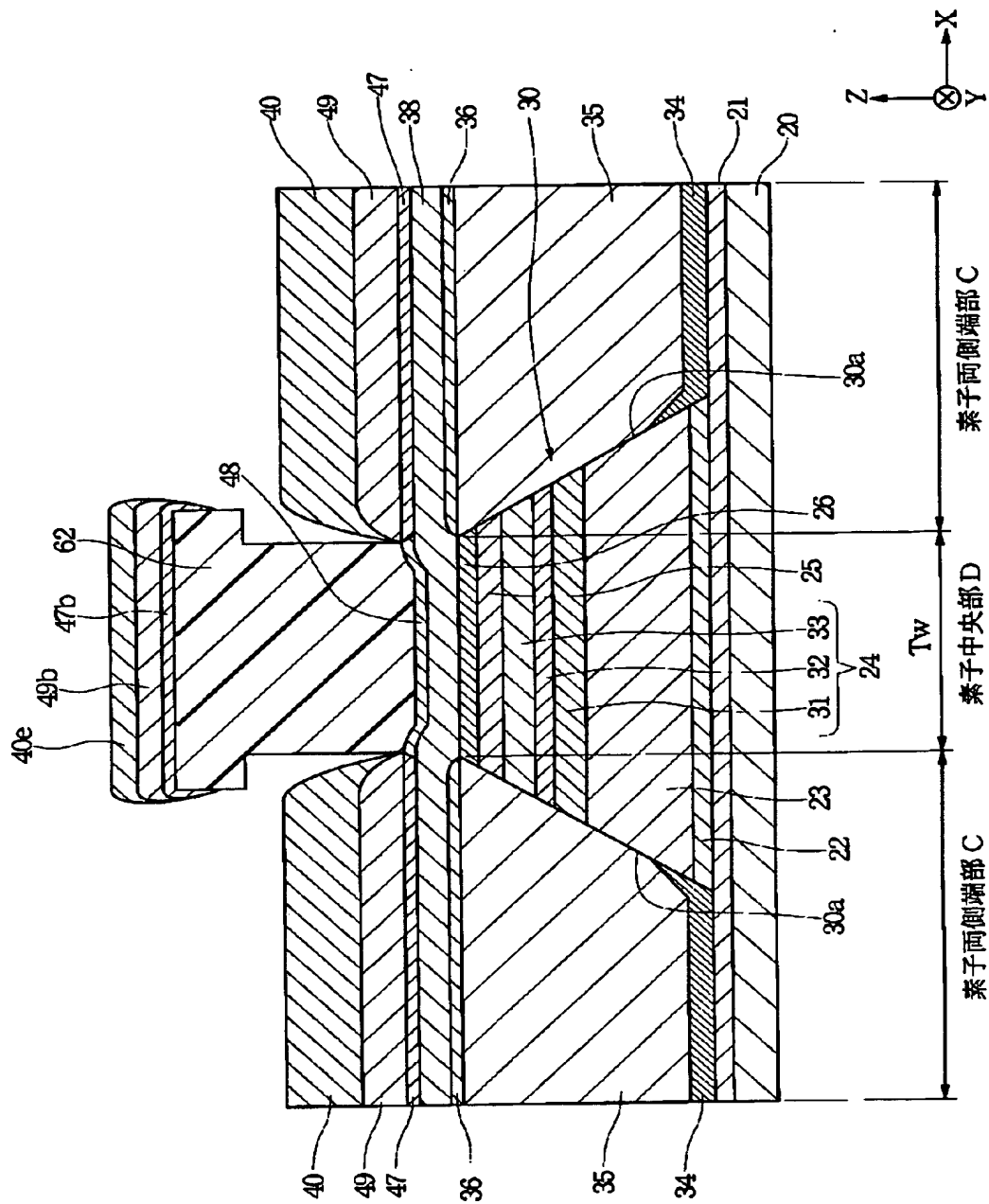
【図 14】

図 14

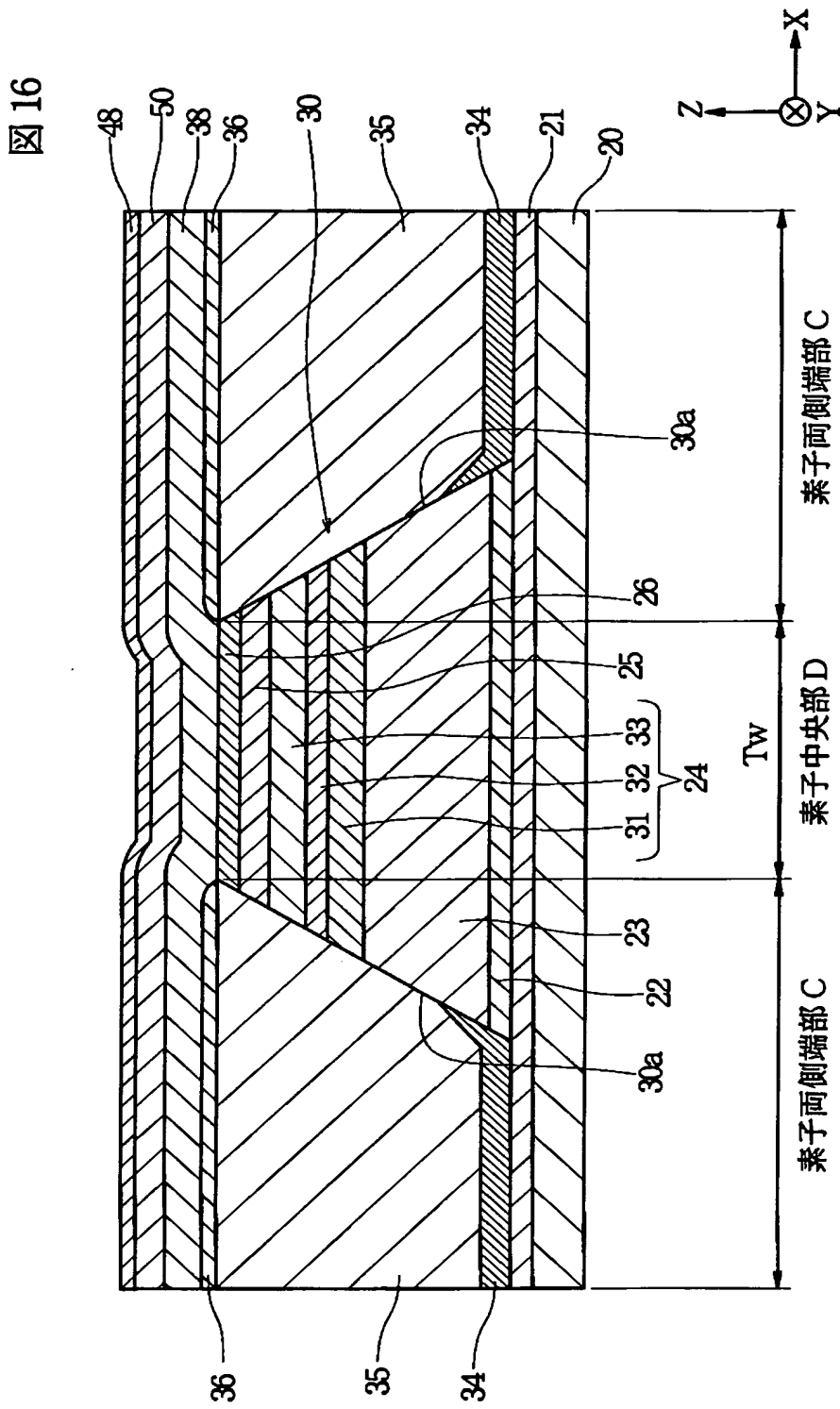


【図 15】

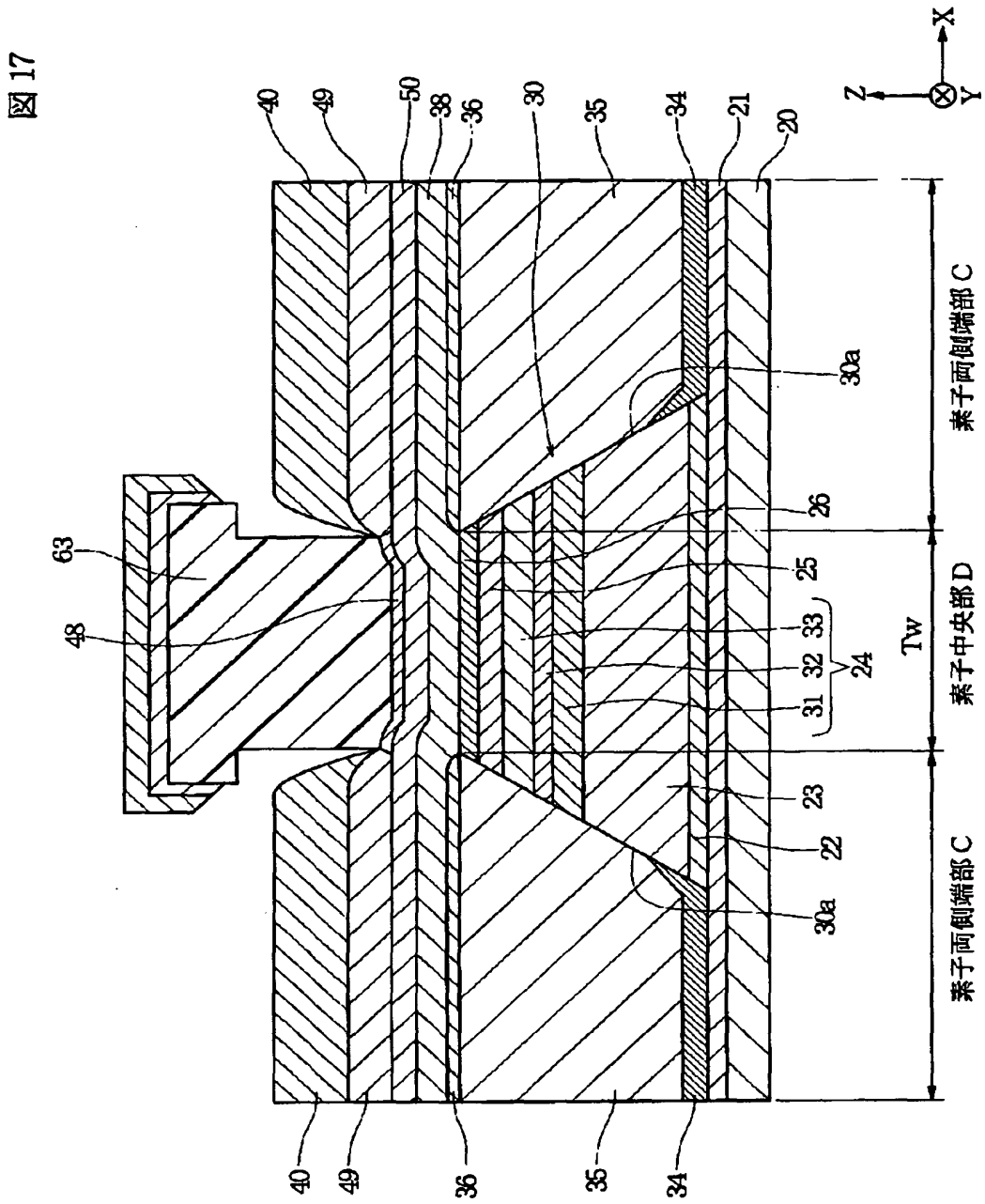
図 15



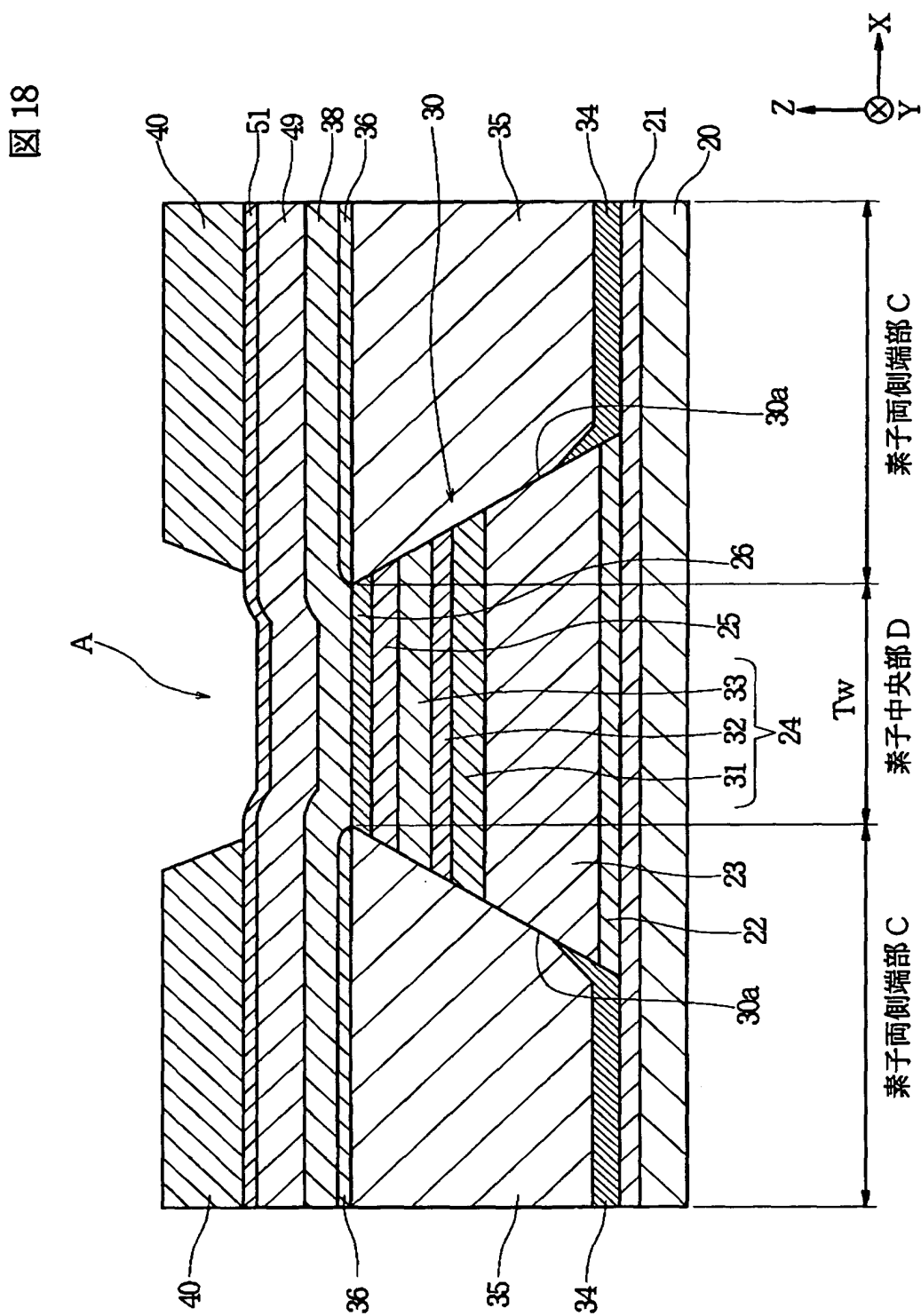
【図 16】



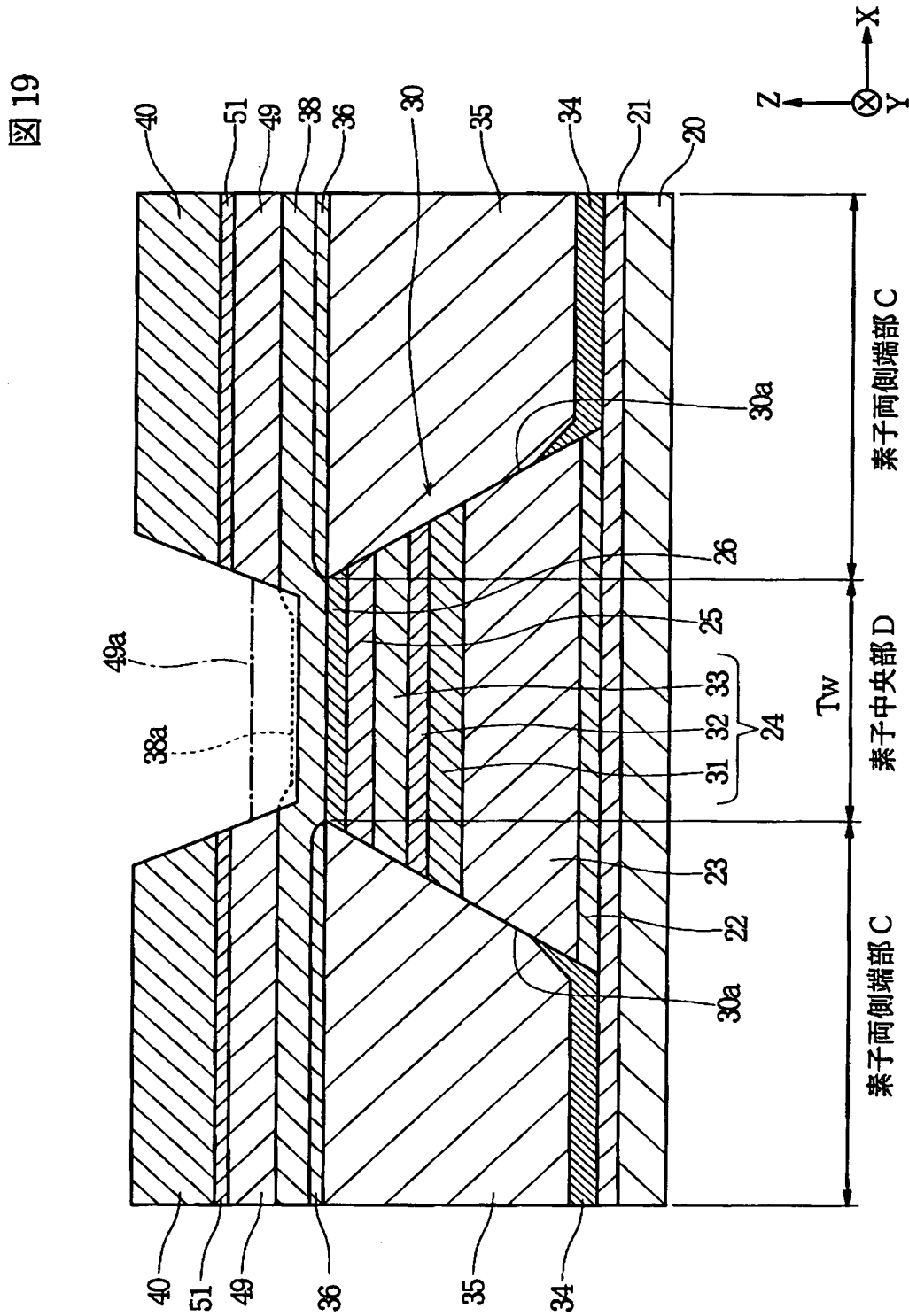
【図 17】



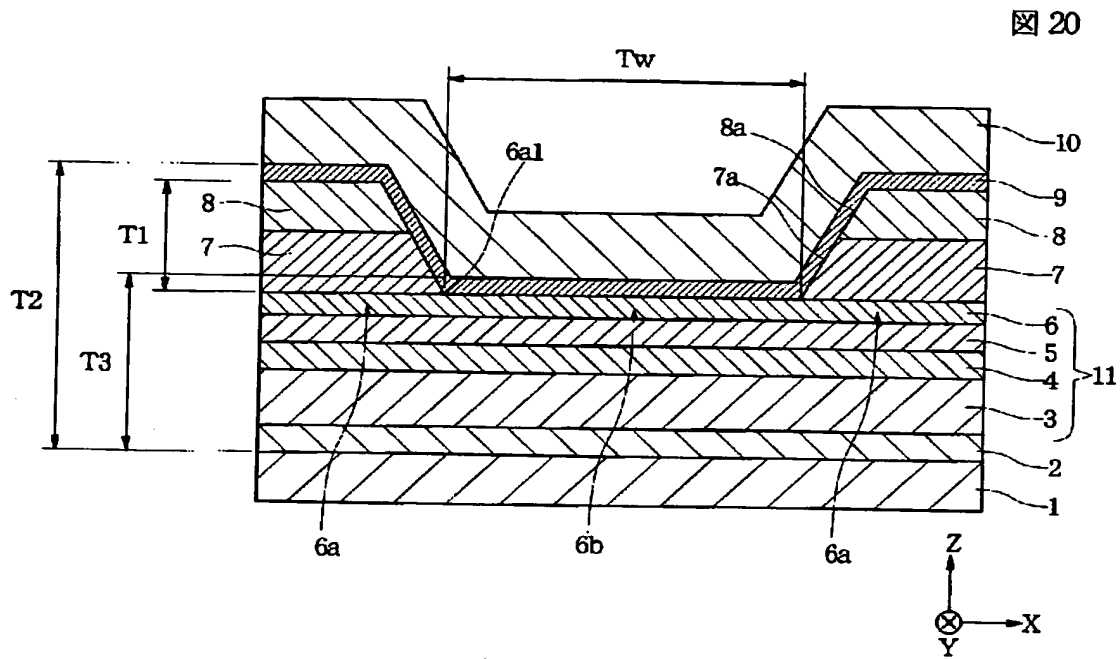
【図 18】



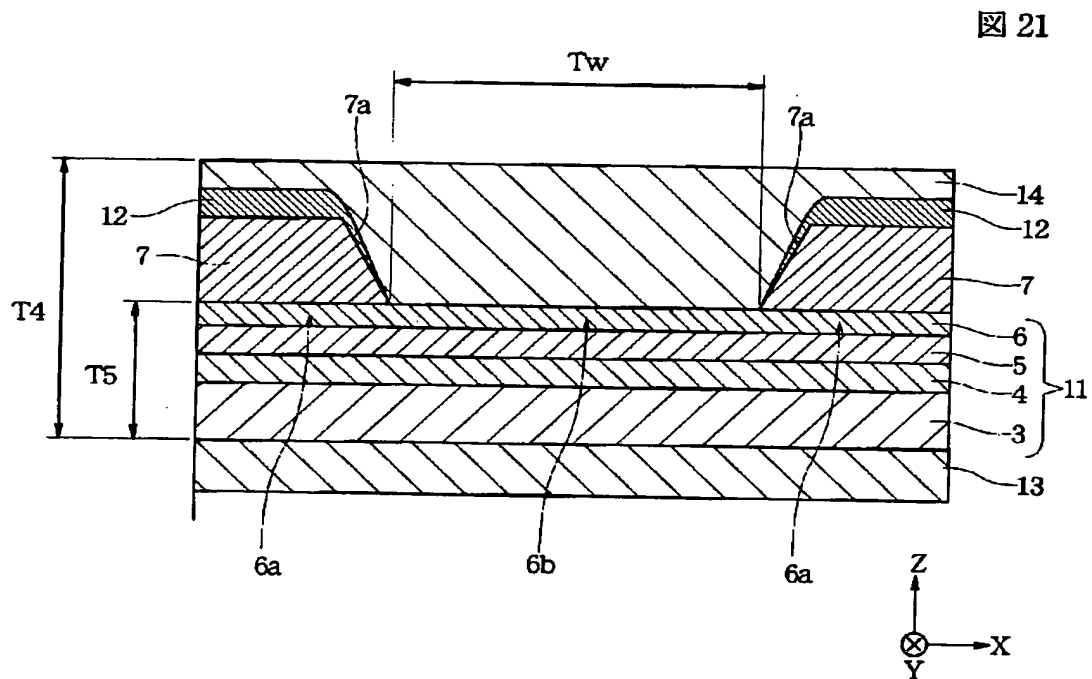
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、シールド間隔を従来より縮め、シールドと磁気検出素子間の絶縁性を高めるとともに、実効再生トラック幅の広がり等を抑制することができる狭トラック化に対応可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 第1フリー磁性層26を有する多層膜30を有し、前記多層膜30のトラック幅方向の両側端面にはトラック幅方向に第2反強磁性層35が設けられ、前記第2反強磁性層35上から前記第1フリー磁性層26上にかけて第2フリー磁性層38が設けられている。これにより素子中央部Dに対する素子両側端部Cでのシールド間隔の広がり抑制でき、よって実効再生トラック幅等の広がり抑制でき、またシールド層と電極層間の絶縁性を向上させることができる。

【選択図】 図1



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号  
氏 名 アルプス電気株式会社